

Rec'd TO

01 JUN 2004

10/537179

PCT/JP 2004/011625

31.08.2004

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

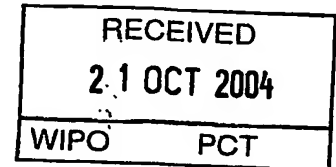
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2 0 0 4 年 2 月 2 0 日

出 願 番 号  
Application Number: 特 願 2 0 0 4 - 0 4 5 5 0 0  
[ST. 10/C]: [ J P 2 0 0 4 - 0 4 5 5 0 0 ]

出 願 人  
Applicant(s): 日 本 電 信 電 話 株 式 会 社

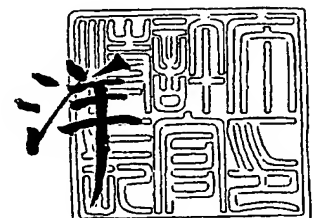


PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年 1 0 月 8 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川



出証番号 出証特 2 0 0 4 - 3 0 9 0 8 0 7

【書類名】 特許願  
【整理番号】 NTTH157165  
【提出日】 平成16年 2月20日  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【国際特許分類】 G02B 6/20  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内  
    【氏名】 森 淳  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内  
    【氏名】 鹿野 弘二  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内  
    【氏名】 及川 喜良  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内  
    【氏名】 青笹 真一  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内  
    【氏名】 清水 誠  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内  
    【氏名】 圓佛 晃次  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内  
    【氏名】 加藤 正夫  
【特許出願人】  
    【識別番号】 000004226  
    【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社  
【代理人】  
    【識別番号】 100077481  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 谷 義一  
【選任した代理人】  
    【識別番号】 100088915  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 阿部 和夫  
【手数料の表示】  
    【予納台帳番号】 013424  
    【納付金額】 21,000円  
【提出物件の目録】  
    【物件名】 特許請求の範囲 1  
    【物件名】 明細書 1  
    【物件名】 図面 1  
    【物件名】 要約書 1  
    【包括委任状番号】 9701393

**【害類名】特許請求の範囲****【請求項1】**

テルライトガラスからなり、コアに相当する部分の周囲に、屈折率が1のエアホールを複数設けたクラッドを有することを特徴とする光ファイバ。

**【請求項2】**

前記コアの外径と、前記エアホールの内径と、前記エアホールのピッチ間隔を調整することにより、零分散波長が1.2～1.7 $\mu$ m帯に設定されたことを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ。

**【請求項3】**

前記クラッドは、4つのエアホールを有することを特徴とする請求項1または2に記載の光ファイバ。

**【請求項4】**

前記テルライトガラスは、 $\text{TeO}_2 - \text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{LO} - \text{M}_2\text{O} - \text{Q}_2\text{O}_3 - \text{R}_2\text{O}_5$ からなる組成を有し、

ここで、LはZn、Ba、Mgのうち少なくとも1種類以上であり、MはLi、Na、K、Rb、Csのうち少なくとも1種類以上であり、QはB、La、Ga、Al、Yのうち少なくとも1種類以上であり、RはP、Nbのうち少なくとも1種類以上であり、

その成分は、

$$50 < \text{TeO}_2 < 90 \text{ (モル\%)}$$

$$1 < \text{Bi}_2\text{O}_3 < 30 \text{ (モル\%)}$$

$$1 < \text{LO} + \text{M}_2\text{O} + \text{Q}_2\text{O}_3 + \text{R}_2\text{O}_5 < 50 \text{ (モル\%)}$$

であることを特徴とする請求項1、2または3に記載の光ファイバ。

**【請求項5】**

前記テルライトガラスは、希土類イオンとして $\text{Ce}^{3+}$ 、 $\text{Pr}^{3+}$ 、 $\text{Nd}^{3+}$ 、 $\text{Pm}^{3+}$ 、 $\text{Sm}^{3+}$ 、 $\text{Eu}^{3+}$ 、 $\text{Tb}^{3+}$ 、 $\text{Dy}^{3+}$ 、 $\text{Ho}^{3+}$ 、 $\text{Er}^{3+}$ 、 $\text{Tm}^{3+}$ 、 $\text{Yb}^{3+}$ のうち少なくとも1つが添加されていることを特徴とする請求項1ないし4のいずれかに記載の光ファイバ。

**【請求項6】**

内壁の内側に凸となる部分が複数形成されたモールドに、テルライトガラスからなるガラス融液を注入成型してガラス母材を作製する第1工程と、

該第1工程で作製された前記ガラス母材を、テルライトガラスからなる円筒状のジャケット管に挿入し、前記ガラス母材と前記ジャケット管との隙間のエアホールを維持または拡大するように加圧線引きする第2工程と

を備えたことを特徴とする光ファイバの製造方法。

**【請求項7】**

内壁の内側に凸となる部分が複数形成され、前記内壁が底部に向かって円錐状に拡大加工されたモールドに、テルライトガラスからなるクラッドガラスのガラス融液を注入する第1工程と、

さらにテルライトガラスからなるコアガラスのガラス融液を注入し、クラッドガラスの体積収縮によりコアガラスを円錐状に吸い込み成型したガラス母材を作製する第2工程と

該第2工程で作製された前記ガラス母材を、テルライトガラスからなる円筒状のジャケット管に挿入し、前記ガラス母材と前記ジャケット管との隙間のエアホールを維持または拡大するように加圧線引きする第3工程と

を備えたことを特徴とする光ファイバの製造方法。

**【請求項8】**

内壁の内側に凸となる部分が複数形成され、前記内壁が底部に向かって円錐状に拡大加工され、前記底部に穴を有するモールドに、テルライトガラスからなるクラッドガラスのガラス融液を注入する第1工程と、

さらにテルライトガラスからなるコアガラスのガラス融液を注入し、クラッドガラスの

体積収縮と、前記穴から前記クラッドガラスが流れ出すことによりコアガラスを円錐状に吸い込み成型したガラス母材を作製する第2工程と、

該第2工程で作製された前記ガラス母材を、テルライトガラスからなる円筒状のジャケット管に挿入し、前記ガラス母材と前記ジャケット管との隙間のエアホールを維持または拡大するように加圧線引きする第3工程と

を備えたことを特徴とする光ファイバの製造方法。

【請求項9】

前記モールドは、内壁の内側に凸となる部分が4つ形成され、前記光ファイバのクラッドは、4つのエアホールを有することを特徴とする請求項6、7または8に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項10】

前記第2工程は、前記穴から真空脱気を行って、前記クラッドガラスが流れ出すようにしたことを特徴とする請求項8に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項11】

テルライトガラスからなるガラス融液をモールドに注入成型してガラスブロックを作製する第1工程と、

内壁の内側に凸となる部分が複数形成された金型により、前記第1工程で作製された前記ガラスブロックを圧縮成型して、ガラス母材を作製する第2工程と、

該第2工程で作製された前記ガラス母材を、テルライトガラスからなる円筒状のジャケット管に挿入し、前記ガラス母材と前記ジャケット管との隙間のエアホールを維持または拡大するように加圧線引きする第3工程と

を備えたことを特徴とする光ファイバの製造方法。

【請求項12】

前記金型は、内壁の内側に凸となる部分が4つ形成され、前記光ファイバのクラッドは、4つのエアホールを有することを特徴とする請求項11に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項13】

テルライトガラスからなるガラス融液をモールドに注入成型して円柱状のガラスブロックを作製する第1工程と、

該第1工程で作製された前記ガラスブロックの長手方向に穴あけ加工して、エアホールが形成されたガラス母材を作製する第2工程と、

該第2工程で作製された前記ガラス母材を、テルライトガラスからなる円筒状のジャケット管に挿入し、前記エアホールを維持または拡大するように加圧線引きする第3工程とを備えたことを特徴とする光ファイバの製造方法。

【請求項14】

テルライトガラスからなるガラス融液を、基台から円柱棒状のピンが複数内側に整列した治具を底面に有するモールドに注入し、前記治具を引き抜くことによりエアホールが形成されたガラス母材を作製する第1工程と、

該第1工程で作製された前記ガラス母材を、テルライトガラスからなる円筒状のジャケット管に挿入し、前記エアホールを維持または拡大するように加圧線引きする第2工程とを備えたことを特徴とする光ファイバの製造方法。

【請求項15】

テルライトガラスからなるガラス融液をモールドに注入成型し、過熱延伸してエアホールを有するガラスブロックを作製する第1工程と、

該第1工程で作製された複数の前記ガラスブロックを束ね、過熱延伸してガラス母材を作製する第2工程と、

該第2工程で作製された前記ガラス母材を、テルライトガラスからなる円筒状のジャケット管に挿入し、前記エアホールを維持または拡大するように加圧線引きする第3工程とを備えたことを特徴とする光ファイバの製造方法。

【請求項16】

エアホールを維持または拡大するように加圧線引きする工程は、線引きの張力を 50 g 以上とすることを特徴とする請求項 6 ないし 15 のいずれかに記載の光ファイバの製造方法。

## 【書類名】 明細書

## 【発明の名称】 光ファイバ及びその製造方法

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、光ファイバ及びその製造方法に関し、より詳細には、テルライトファイバの屈折率、構造、材料を設計することにより、光通信波長帯である  $1.2 \sim 1.7 \mu\text{m}$  帯に零分散波長を有する光ファイバ及びその製造方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

近年、インターネットの急速な普及に起因する爆発的な通信需要の増加と、光通信システムの低コスト化の要求に伴って、1本の光ファイバに複数の異なる波長の信号光を多重して伝送する波長分割多重 (WDM) 伝送方式が開発され、加速度的に普及している。WDM伝送方式のネットワークを、コストパフォーマンス良く大規模化すると共に、フレキシブルかつ高機能化するために、波長変換素子、高速スイッチ、スーパーコンティニューム光源などのデバイスの開発が熱望されている。

## 【0003】

このようなデバイスを実現する方法として、光ファイバの非線形光学効果を用いた非線形光デバイスが盛んに検討されている。従来の石英ファイバにおいては、高い非線形性を実現するために、コアにゲルマニウムを添加し、クラッドにフッ素を添加することにより2%以上の高屈折率差が設定されている。光通信波長帯で効率よく非線形効果を出現させるためには、位相整合条件を満たすように、零分散波長を  $1.2 \sim 1.7 \mu\text{m}$  帯にしなければならない。しかしながら、石英ファイバの場合、材料分散による零分散波長は  $1.3 \mu\text{m}$  であり、添加物によって大きく分散をシフトさせることは難しいため、様々な屈折率プロファイルによって零分散を  $1.5 \mu\text{m}$  へとシフトさせている (例えば、非特許文献1参照)。

## 【0004】

一方、石英ファイバ内部の長手方向にエアホールを多数形成したフォトリソニッククリスタルファイバまたはホーリーファイバが盛んに研究されている (例えば、非特許文献2参照)。非特許文献2に記載されたファイバ構造を用いることにより、従来のコア/クラッド構造を有するファイバでは実現できない特性を与えることができ、高い非線形性を有するファイバへの応用が実現されている。しかしながら、現状のところ零分散波長が  $1.2 \sim 1.7 \mu\text{m}$  帯でありかつ高い非線形性を有する石英系フォトリソニッククリスタルファイバは実現されていない。

## 【0005】

上述したように、従来の石英を主体としたファイバを用いた非線形デバイスは、非線形光学効果に必要な相互作用長を確保するために、ファイバ長を数100m以上とすることが大半である。そこで、高い非線形性を有する光学材料を用いて、高効率でコンパクトな非線形デバイスの実現が望まれている。

## 【0006】

また、石英系ガラス以外の酸化物ガラスからなるフォトリソニッククリスタルファイバまたはホーリーファイバの作製方法として、押し出し法が報告されている (非特許文献3, 4参照)。押し出し法は、作製したバルクガラスを、変形が可能になる粘度になるまで高温に加熱し、型に押し込んで押し出すことにより、ホール構造を有する母材を作製する。押し出し法は、ガラスが長い時間高温に保持され、さらに変形されるため、ガラス中の結晶核が成長しやすく、低損失のファイバを作製することが難しい。そのため、非特許文献3, 4に記載されたファイバの損失値は、いずれも  $1000 \text{ dB/km}$  を超え、実用的なデバイスとして使用できる損失を有するファイバは得られていない。

## 【0007】

一方、テルライトガラスを用いたファイバは、これまで  $\text{Er}^{3+}$  添加ファイバ増幅器やラマン増幅器に応用され、広帯域増幅を実現している (非特許文献5, 6参照)。ライト

ガラスは、石英ガラスと比べて10倍以上の大きな非線形光学効果を有すると同時に、ラマン増幅器への応用の際には、20 dB/kmの低損失ファイバを実現している。従って、テルライトファイバを非線形デバイスとして応用することができれば、これまでにないコンパクトで高効率なデバイスが期待できる。

【0008】

【非特許文献1】川上彰二郎、白石和男、大橋正治著、「光ファイバとファイバ型デバイス」、培風館、p97

【非特許文献2】A.Bjarklev, et al., "Photo Crystal Fibers The State of The Art", Holy fibers Symposium vol.1.1, ECOC2002

【非特許文献3】P.Petropoulos, et al., "Soliton-self-frequency-shift effect s and pulse compression in an anomalously dispersive high nonlinearity lead silicate holy fiber", PD3-1, OFC2003

【非特許文献4】V.V.Ravi Kanth Kunth, et al., "Tellurite glass photonic crystal fiber" PD3 ECOC2003

【非特許文献5】A.Mori, et al., "1.5 $\mu$ m Broadband Amplification by Tellurite-Based EDFAs", PD1, OFC1997

【非特許文献6】A.Mori, et al., "Ultra-wideband tellurite-Based Raman fibre amplifier", Electronics Letter vol.37, No.24, pp.1442-1443, 2001

【非特許文献7】Gorachand Ghosh, "Sellmeier Coefficients and Chromatic Dispersion for Some Tellurite Glasses", J. Am. Soc., 78(10) 2828-30, 1995

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、上述したように、光通信波長帯で効率よく非線形効果を出現させるためには、位相整合条件を満たすように、零分散波長を1.2~1.7 $\mu$ m帯にしなければならない。テルライトファイバの場合、材料分散は1.2~1.7 $\mu$ m帯で大きく負分散を有し、零分散波長は2 $\mu$ mを超えた長波長側に位置する。従って、石英ガラスと同様な分散を長波長側へシフトさせる手法は適用できないという問題点があった。

【0010】

本発明は、このような問題に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、零分散波長を通信波長帯である1.2~1.7 $\mu$ m帯にシフトし、テルライトガラスを用いた低損失で高効率の光ファイバ及びその製造方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明は、このような目的を達成するために、請求項1に記載の発明は、テルライトガラスからなり、コアに相当する部分の周囲に、屈折率が1のエアホールを複数設けたクラッドを有する光ファイバであることを特徴とする。

【0012】

請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の前記コアの外径と、前記エアホールの内径と、前記エアホールのピッチ間隔を調整することにより、零分散波長が1.2~1.7 $\mu$ m帯に設定されたことを特徴とする。

【0013】

請求項3に記載の発明は、請求項1または2に記載の前記クラッドは、4つのエアホールを有することを特徴とする。

【0014】

請求項4に記載の発明は、請求項1、2または3に記載の前記テルライトガラスは、 $\text{TeO}_2$ - $\text{Bi}_2\text{O}_3$ - $\text{LaO}$ - $\text{M}_2\text{O}$ - $\text{Q}_2\text{O}_3$ - $\text{R}_2\text{O}_5$ からなる組成を有し、ここで、LはZn、Ba、Mgのうち少なくとも1種類以上であり、MはLi、Na、K、Rb、Csのうち少なくとも1種類以上であり、QはB、La、Ga、Al、Yのうち少なくとも1種類以上であり、RはP、Nbのうち少なくとも1種類以上であり、その成分は、

$50 < \text{TeO}_2 < 90$  (モル%) $1 < \text{Bi}_2\text{O}_3 < 30$  (モル%) $1 < \text{LO} + \text{M}_2\text{O} + \text{Q}_2\text{O}_3 + \text{R}_2\text{O}_5 < 50$  (モル%)

であることを特徴とする。

**【0015】**

請求項5に記載の発明は、請求項1ないし4のいずれかに記載の前記テルライトガラスは、希土類イオンとして $\text{Ce}^{3+}$ 、 $\text{Pr}^{3+}$ 、 $\text{Nd}^{3+}$ 、 $\text{Pm}^{3+}$ 、 $\text{Sm}^{3+}$ 、 $\text{Eu}^{3+}$ 、 $\text{Tb}^{3+}$ 、 $\text{Dy}^{3+}$ 、 $\text{Ho}^{3+}$ 、 $\text{Er}^{3+}$ 、 $\text{Tm}^{3+}$ 、 $\text{Yb}^{3+}$ のうち少なくとも1つが添加されていることを特徴とする。

**【0016】**

請求項6に記載の発明は、内壁の内側に凸となる部分が複数形成されたモールドに、テルライトガラスからなるガラス融液を注入成型してガラス母材を作製する第1工程と、該第1工程で作製された前記ガラス母材を、テルライトガラスからなる円筒状のジャケット管に挿入し、前記ガラス母材と前記ジャケット管との隙間のエアホールを維持または拡大するように加圧線引きする第2工程とを備えた光ファイバの製造方法であることを特徴とする。

**【0017】**

請求項7に記載の発明は、内壁の内側に凸となる部分が複数形成され、前記内壁が底部に向かって円錐状に拡大加工されたモールドに、テルライトガラスからなるクラッドガラスのガラス融液を注入する第1工程と、さらにテルライトガラスからなるコアガラスのガラス融液を注入し、クラッドガラスの体積収縮によりコアガラスを円錐状に吸い込み成型したガラス母材を作製する第2工程と、該第2工程で作製された前記ガラス母材を、テルライトガラスからなる円筒状のジャケット管に挿入し、前記ガラス母材と前記ジャケット管との隙間のエアホールを維持または拡大するように加圧線引きする第3工程とを備えた光ファイバの製造方法であることを特徴とする。

**【0018】**

請求項8に記載の発明は、内壁の内側に凸となる部分が複数形成され、前記内壁が底部に向かって円錐状に拡大加工され、前記底部に穴を有するモールドに、テルライトガラスからなるクラッドガラスのガラス融液を注入する第1工程と、さらにテルライトガラスからなるコアガラスのガラス融液を注入し、クラッドガラスの体積収縮と、前記穴から前記クラッドガラスが流れ出すことによりコアガラスを円錐状に吸い込み成型したガラス母材を作製する第2工程と、該第2工程で作製された前記ガラス母材を、テルライトガラスからなる円筒状のジャケット管に挿入し、前記ガラス母材と前記ジャケット管との隙間のエアホールを維持または拡大するように加圧線引きする第3工程とを備えた光ファイバの製造方法であることを特徴とする。

**【0019】**

請求項9に記載の発明は、請求項6、7または8に記載の前記モールドは、内壁の内側に凸となる部分が4つ形成され、前記光ファイバのクラッドは、4つのエアホールを有することを特徴とする。

**【0020】**

請求項10に記載の発明は、請求項8に記載の前記第2工程は、前記穴から真空脱気を行って、前記クラッドガラスが流れ出すようにしたことを特徴とする。

**【0021】**

請求項11に記載の発明は、テルライトガラスからなるガラス融液をモールドに注入成型してガラスブロックを作製する第1工程と、内壁の内側に凸となる部分が複数形成された金型により、前記第1工程で作製された前記ガラスブロックを圧縮成型して、ガラス母材を作製する第2工程と、該第2工程で作製された前記ガラス母材を、テルライトガラスからなる円筒状のジャケット管に挿入し、前記ガラス母材と前記ジャケット管との隙間のエアホールを維持または拡大するように加圧線引きする第3工程とを備えた光ファイバの製造方法であることを特徴とする。



## 【0022】

請求項12に記載の発明は、請求項11に記載の前記金型は、内壁の内側に凸となる部分が4つ形成され、前記光ファイバのクラッドは、4つのエアホールを有することを特徴とする。

## 【0023】

請求項13に記載の発明は、テルライトガラスからなるガラス融液をモールドに注入成型して円柱状のガラスブロックを作製する第1工程と、該第1工程で作製された前記ガラスブロックの長手方向に穴あけ加工して、エアホールが形成されたガラス母材を作製する第2工程と、該第2工程で作製された前記ガラス母材を、テルライトガラスからなる円筒状のジャケット管に挿入し、前記エアホールを維持または拡大するように加圧線引きする第3工程とを備えた光ファイバの製造方法であることを特徴とする。

## 【0024】

請求項14に記載の発明は、テルライトガラスからなるガラス融液を、基台から円柱棒状のピンが複数内側に整列した治具を底面に有するモールドに注入し、前記治具を引き抜くことによりエアホールが形成されたガラス母材を作製する第1工程と、該第1工程で作製された前記ガラス母材を、テルライトガラスからなる円筒状のジャケット管に挿入し、前記エアホールを維持または拡大するように加圧線引きする第2工程とを備えた光ファイバの製造方法であることを特徴とする。

## 【0025】

請求項15に記載の発明は、テルライトガラスからなるガラス融液をモールドに注入成型し、過熱延伸してエアホールを有するガラスブロックを作製する第1工程と、該第1工程で作製された複数の前記ガラスブロックを束ね、過熱延伸してガラス母材を作製する第2工程と、該第2工程で作製された前記ガラス母材を、テルライトガラスからなる円筒状のジャケット管に挿入し、前記エアホールを維持または拡大するように加圧線引きする第3工程とを備えた光ファイバの製造方法であることを特徴とする。

## 【0026】

請求項16に記載の発明は、請求項6ないし15のいずれかに記載の光ファイバの製造方法において、エアホールを維持または拡大するように加圧線引きする工程は、線引きの張力を50g以上とすることを特徴とする。

## 【発明の効果】

## 【0027】

以上説明したように、本発明によれば、石英ガラスと比べて10倍以上の大きな非線形光学効果を有するテルライトファイバを用いて、光通信波長帯である $1.2 \sim 1.7 \mu\text{m}$ 帯に零分散波長をシフトすることができるので、コンパクトで高効率な非線形デバイスである光ファイバを提供することが可能となる。

## 【0028】

また、本発明によれば、ガラス母材を注入成型により作製するので、従来の押し出し法と比較して、ガラス母材に対する加熱工程の時間が短いために、低損失のテルライトファイバを作製することが可能となる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0029】

本発明の一実施形態にかかるテルライトファイバについて説明する。 $\text{TeO}_2$ を主成分とするガラスは、屈折率 $n_D$ が2程度を有するのと同時に、材料波長分散は $1.2 \sim 1.7 \mu\text{m}$ 帯で大きく負分散を有し、零分散波長は $2 \mu\text{m}$ を超えた長波長側に位置する（例えば、非特許文献7参照）。従って、テルライトガラスを用いてステップインデックス型のコア/クラッド屈折率プロファイルを有するファイバを作製すると、材料波長分散の特性から大きく変化させることはできない。

## 【0030】

本発明にかかる第1の実施形態は、テルライトガラスを用いたフォトニッククリスタルファイバにおいて、コアに相当する部分の周囲に、屈折率1のエアホールを複数空ける構

造とし、零分散波長を光通信帯である 1.2 ~ 1.7  $\mu\text{m}$  帯に制御する。特に、エアホールを 4 つとし、コアに相当する部分を十字型のクラッドガラスで支える構造が好ましい。エアホールを偶数として構造の対称性を保つことにより、偏波依存性を軽減することができる。また、4 つという簡易な構造とし、延伸工程の制御を容易にするとともに、モールドを 4 分割することにより、ガラス母材を取り出しやすくすることができる。

#### 【0031】

本発明にかかる第 2 の実施形態は、テルライトガラスの具体的な組成に関する。テルライトガラスの組成を適切に選択することにより、ファイバ化加工に対して十分熱的に安定であり、非線形定数が高く、低損失なファイバを作製することができる。このうち  $\text{TeO}_2$  と  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  は、高非線形性を付与するための必須成分であるが、

$$50 < \text{TeO}_2 < 90 \text{ (モル\%)}$$

$$1 < \text{Bi}_2\text{O}_3 < 30 \text{ (モル\%)}$$

の範囲を逸脱すると熱的に安定で透過特性の良いガラスを得ることができない。その他の成分はガラスを熱的に安定にし、粘性を下げて加工しやすくするために添加する。

#### 【0032】

本発明にかかる第 3 の実施形態として、テルライトガラス材料に希土類イオンとして  $\text{Ce}^{3+}$ 、 $\text{Pr}^{3+}$ 、 $\text{Nd}^{3+}$ 、 $\text{Pm}^{3+}$ 、 $\text{Sm}^{3+}$ 、 $\text{Eu}^{3+}$ 、 $\text{Tb}^{3+}$ 、 $\text{Dy}^{3+}$ 、 $\text{Ho}^{3+}$ 、 $\text{Er}^{3+}$ 、 $\text{Tm}^{3+}$ 、 $\text{Yb}^{3+}$  のうち少なくとも 1 つを添加させることにより、非線形性と同時に光増幅、吸収によるフィルタリング効果などの特性を付与することができる。

#### 【0033】

本発明にかかる第 4 ~ 8 の実施形態は、テルライトガラスを用いて、エアホールを有するファイバ構造を作製する際のガラス母材の作製方法である。第 4 の実施形態は、ガラス融液を注入成型する際に使用するモールドとして、内壁の内側に凸となる部分が複数形成されたモールドを用いる。このモールドを用いて成型したガラス母材を、円筒状のテルライトガラスからなるジャケット管に挿入することにより、ガラス母材とジャケット管との隙間にエアホール部を形成する。第 5 の実施形態は、ガラスブロックを圧縮成型する際に使用する金型として、内壁の内側に凸となる部分が複数形成された金型を用いる。この金型を用いて成型したガラス母材を、円筒状のテルライトガラスからなるジャケット管に挿入することにより、ガラス母材とジャケット管との隙間にエアホール部を形成する。

#### 【0034】

第 6 の実施形態は、テルライトガラスからなる円柱状のガラスブロックを作製し、ガラスブロックの長手方向にドリルで穴を開け、エアホール部を有するガラス母材を作製する。このガラス母材を、円筒状のテルライトガラスからなるジャケット管に挿入して線引きする方法である。第 7 の実施形態は、ガラス融液を注入成型する際に使用するモールドにおいて、底面から円柱棒状のピンを複数内側に整列させる。注入成型した後、すばやく予加熱しておいたピンを引き抜くことにより、エアホール部を形成する。第 8 の実施形態は、テルライトガラスを材料とし、外形が円柱状または角柱状であり、内形が円のエアホール部が形成されたガラスパイプを複数束ねる。束ねたガラスパイプを、過熱延伸することにより成型したガラス母材を、円筒状のテルライトガラスからなるジャケット管に挿入して線引きする。

#### 【0035】

本発明にかかる第 9 ~ 12 の実施形態は、単一組成のテルライトガラスでフォトニッククリスタルファイバを構成するのではなく、さらに屈折率の違う組成でコア／クラッド構造を形成する方法である。第 9 の実施形態は、ガラス融液を注入成型する際に使用するモールドの下部を円錐状に拡大加工する。このモールドを用いてクラッド及びコアの順に注入し、クラッドガラスの体積収縮によりコアガラスを円錐状に吸い込み成型した母材を用いる。このとき、モールド上部は、内壁が内側に凸となっており、コアガラスが吸い込まれるエリアが小さいため、効果的にコアを吸い込ませるには、注入温度等の最適化が必要になる。

## 【0036】

第10の実施形態では、第9の実施形態と比較して、コアの吸い込みを容易にするため、モールド下部の円錐状部分の底にガラスを注入した後に、穴が開く構造を設ける。この穴にガラスが漏れ出すことと、ガラスの収縮との相乗効果を起こす方法である。第11の実施形態では、第10の実施形態と比較して、コアの吸い込みを容易にするため、モールド下部の円錐状部分の底にガラスを注入した後に、穴が開く構造を設ける。この穴にガラスが漏れ出すように真空に引くことと、ガラスの収縮との相乗効果を起こす方法である。第12の実施形態は、母材に形成されたエアホールを保持または拡大するように加圧線引きする際、線引きの張力を50g以上とすることによりホールの形成及びホール径の制御を容易にする。

## 【0037】

以上説明したように、本実施形態にかかる光ファイバの製造方法においては、ガラス母材を注入成型または圧縮成型により作製する。従って、いずれの成型方法においても、押し出し法と比較して、ガラス母材に対する加熱工程の時間が短いために、ガラス中の結晶化を抑えることができ、低損失の光ファイバを作製することができる。

## 【0038】

以下、図面を参照しながら本発明にかかるテルライトフォトニッククリスタルファイバの実施例について詳細に説明する。

## 【0039】

## (実施例1)

本発明の一実施形態にかかるテルライトフォトニッククリスタルファイバに使用されるガラス組成(mol%表示)の一例と、各々のガラス組成の熱安定性( $T_x - T_g$ : $^{\circ}\text{C}$ )、屈折率( $n_D$ )、非線形感受率( $\chi^3$ :esu)、紫外吸収端(UV:nm)について、測定した試験結果を表1に記す。

## 【0040】

【表1】

表1	No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
組成例 (mol%)	TeO <sub>2</sub>	75	80	70	65	55	40	60	65	65	70	70	70	70	75	75	75	75	80	80	80	80	85	85	90
	Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	2	10	20	30	10	8	15	12	12	7	8	10	15	10	10	7	7	8	7	7	5	5	5
	ZnO	5		5					7	5		8				5	5	5	5				3		
	BaO		5			5	20	7			5						5			5	5				
	MgO				5								5												
	Li <sub>2</sub> O	10					10			13			10					12	8						
	Na <sub>2</sub> O		7			5	6					5			5					7			7		5
	K <sub>2</sub> O			8				5						7			10								
	Rb <sub>2</sub> O				5			10			10					5					5				
	Cs <sub>2</sub> O					5			8																
	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5					4					5												5	
	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							5				5			5										
	Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		6							5			2												
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			7							3					5								5	
	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				5			5				5		5								3			
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5																							
	Nb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>						10		5					8							3				
	T <sub>x</sub> -T <sub>g</sub> °C	90	150	120	140	70	80	150	140	180	160	150	160	170	150	300<	140	300<	300<	300<	160	180	140	130	50
	nD	1.98	2.07	2.18	2.21	2.23	1.85	2.15	2.2	2.18	2.13	2.1	2.05	2.09	2.2	2.09	2.03	2.07	2.12	2.11	2.13	2.08	2.12	2.13	2.16
	χ <sup>3</sup> (x10 <sup>-12</sup> )	0.5	1	1.2	2	2.6	0.6	1.2	2	1.8	1.3	1.2	1.1	1.5	2	1.6	1.4	1.3	1.7	1.5	1.8	1.5	1.6	1.5	2
	UV	360	365	370	378	410	390	380	390	385	375	370	380	375	380	375	380	370	375	370	380	370	365	380	390

ガラス試料は、窒素ガスを充填したグローブボックス内で原料を混合し、金又は白金坩堝を用いて酸素雰囲気下800~1100℃で熔融した後、300~400℃に予加熱した鋳型中に融液を流し込むことにより作製する。ファイバの加工には、ガラス母材の延伸・線引きなどの再加熱が必要となるため、損失が低く、強度の強いファイバを実現するには、熱安定性が重要なファクタとなる。テルライトガラスは、一般的に、ガラス転移温度 $T_g$ から30~80℃高い温度で延伸・線引き加工をするためには、熱安定性=(結晶化温度 $T_x$ )-(ガラス転移温度 $T_g$ )が100℃以上あることが望ましい。

#### 【0041】

表1のガラス組成のうち、No. 1~5は、 $Bi_2O_3$ の添加量が0~30mol%の範囲である。No. 1の0mol%とNo. 5の30mol%とでは、熱安定性 $T_x - T_g$ が100℃以下であり、熱安定性が不十分である。また、No. 6は $TeO_2$ が50mol%以下であり、No. 24は $TeO_2$ が90mol%以上であり、それぞれ熱安定性 $T_x - T_g$ が100℃以下であり、熱安定性が不十分である。

#### 【0042】

表1の組成をまとめると、テルライトガラスは、 $TeO_2 - Bi_2O_3 - LO - M_2O - Q_2O_3 - R_2O_5$ からなる組成を有し、ここで、LはZn、Ba、Mgのうち少なくとも1種類以上であり、MはLi、Na、K、Rb、Csのうち少なくとも1種類以上であり、QはB、La、Ga、Al、Yのうち少なくとも1種類以上であり、RはP、Nbのうち少なくとも1種類以上である。 $TeO_2$ と $Bi_2O_3$ は、本実施形態において高非線形性をもたらす必須成分であり、以上の点から、

$$50 < TeO_2 < 90 \text{ (モル\%)}$$

$$1 < Bi_2O_3 < 30 \text{ (モル\%)}$$

$$1 < LO + M_2O + Q_2O_3 + R_2O_5 < 50 \text{ (モル\%)}$$

の範囲にあることが必要となる。上述した以外の組成例では、ファイバの加工に十分な熱安定性を有していない。

#### 【0043】

図1に、本発明の実施例1にかかるフォトニッククリスタルファイバの作製方法を示す。熱安定性 $T_x - T_g$ が300℃以上あるNo. 19の組成のガラス原料を熔融したガラス融液102を、300~400℃に予加熱したモールド101に注入する(図1(a))。モールド101は、内壁の内側に凸となる部分が4つ形成され、注入されたガラス母材が十字型となるように形成されている。注入後300℃付近の温度で10時間以上アニールし、ガラス母材103を作製する(図1(b))。モールド101を4分割して、ガラス母材103を取り出しやすくし、ガラス母材103の欠け、クラックを防ぐことができる。同様にガラス原料を熔融し、300~400℃に予加熱した円筒状のモールドに流し込んだ後、モールドを水平に保持したまま高速回転させるローテーションキャスト法により、円筒状のジャケット管104を作製する(図1(c))。

#### 【0044】

ジャケット管104にガラス母材103を挿入して延伸する(図1(d))。延伸した母材105の断面は、正確に対称となる。延伸した母材105の線径の一定した部分106を切り出し、再びジャケット管に挿入して延伸する。ガラス母材103とジャケット管との隙間にエアホールが形成され、延伸・線引きを行う際に、ホールの形成された部分108を加圧して、エアホールを維持又は拡大するように加圧線引きする。線引き張力を樹脂被服するダイスを通す前の値で50g以上になるように調整しながら、外径110μmに線引き加工して(図1(e))、フォトニッククリスタルファイバ107を作製する。

#### 【0045】

延伸工程では、延伸加重が200g程度において、10~20mmφの母材を3~6mmφへ延伸できる粘度である $10^9 \sim 10^{10}$  P (ポアズ) となるように加熱する。一方、押し出し法により、バルクがラスからホール構造を持つ母材へと加工するためには、粘度として $10^6$  P (ポアズ) 程度に軟らかくする必要がある。従って、本実施例によれば、押し出し法と比較して、加熱する温度が低いので、結晶核の成長を抑えることができ、

低損失のファイバを作製するのに適している。

#### 【0046】

図2(a)に、作製したフォトニック結晶ファイバの断面図を示す。フォトニック結晶ファイバの外径は $110\mu\text{m}$ 、エアホールの内径が $26\mu\text{m}$ である。図2(b)は、光の伝播するコアに相当する部分の拡大図であり、コア径は $2.6\mu\text{m}$ である。光出力がピークの $1/e^2$ となる断面積 $A_{eff}$ は $3.54\mu\text{m}^2$ であり、 $\gamma$ 値(非線形を表す: $2\pi n^2/\lambda A_{eff}$ )は $675\text{W}^{-1}\text{km}^{-1}$ である。

#### 【0047】

コア径やエアホール内径を制御するためには、ジャケット管104の肉厚を変化させたり、延伸回数を増やしたりすることにより可能である。本実施形態にかかるフォトニック結晶ファイバの損失は、 $1.55\mu\text{m}$ で $60\text{dB/km}$ であり、零分散波長は、材料分散での値 $2.29\mu\text{m}$ から $1.57\mu\text{m}$ にシフトする(図3参照)。エアホールの形状は、対称に作製されているため、偏波依存性は発生しない。

#### 【0048】

図4に、実施例1にかかるフォトニック結晶ファイバのコア径と零分散波長の関係を示す。図を参照すると、零分散波長を $1.2\sim 1.7\mu\text{m}$ に制御するためには、コア径を $0.8\sim 3.4\mu\text{m}$ に制御する必要がある。また、零分散波長を $1.55\mu\text{m}$ とするためには、コア径を $2.45\mu\text{m}$ とする必要がある。

#### 【0049】

図5に、実施例1にかかるフォトニック結晶ファイバを用いた波長変換装置を示す。波長変換装置は、 $1530\sim 1560\text{nm}$ の波長帯に $100\text{GHz}$ 間隔に32波のWDM信号を出力する光源301~332と、 $1565\text{nm}$ の励起光を出力する光源333とを有する。さらに、光源301~332の出力を合波するAWG(Arrayed Waveguide Grating)341と、合波されたWDM信号光 $E_s$ と励起光 $E_p$ とを合波する光カップラ342と、長さ50mの実施例1にかかるフォトニック結晶ファイバ343とを備えている。このような構成により、波長変換装置は、32波のWDM信号の波長を一括変換して、変換光 $E_c$ を出力する。

#### 【0050】

図6に、波長変換装置の出力スペクトルを示す。励起光 $E_p$ のパワー $40\text{mW}$ に対して、変換効率 $-15\text{dB}$ であり、帯域幅 $70\text{nm}$ の波長一括変換を行うことができる。

#### 【0051】

##### (実施例2)

図7に、本発明の実施例2にかかるフォトニック結晶ファイバの作製方法を示す。表1において、熱安定性 $T_x-T_g$ が $150^\circ\text{C}$ であるNo. 14の組成を用いる。 $\text{Er}_2\text{O}_3$ を用いて、 $\text{Er}$ を $500\text{ppm}$ 添加したガラス原料を溶融したガラス融液を、 $300\sim 400^\circ\text{C}$ に予加熱したモールドに注入する。注入後 $300^\circ\text{C}$ 付近の温度で10時間以上アニールし、ガラスブロック501を作製する。ガラスブロック501を、 $350^\circ\text{C}$ に加熱保持した加熱圧縮整形用の金型502に入れて圧縮整形し(図7(a))、ガラス母材503を作製する(図7(b))。金型502は、内壁の内側に凸となる部分が複数形成されている。本実施例においても、押し出し法と比較して、加熱する温度が低いので、結晶核の成長を抑えることができ、低損失のファイバを作製するのに適している。

#### 【0052】

ガラス母材503を用いて、実施例1と同様に延伸・線引きすることにより、フォトニック結晶ファイバを作製する。作製されたフォトニック結晶ファイバの断面は、図2と同様であり、外径は $115\mu\text{m}$ 、エアホールの内径が $30\mu\text{m}$ 、コア径は $2.5\mu\text{m}$ である。このファイバの損失は、 $1.55\mu\text{m}$ で $70\text{dB/km}$ であり、零分散波長分散は、 $1.55\mu\text{m}$ である。

#### 【0053】

このフォトニック結晶ファイバを用いて、図5と同じ構成の波長変換装置を作製する。光源として、 $1530\sim 1560\text{nm}$ の波長帯に $100\text{GHz}$ 間隔に32波のWDM

M信号を出力する光源301~332と、1480nmの励起光と1565nmの励起光とを出力する光源333とを用いる。長さ15mの実施例2にかかるフォトニッククリスタルファイバ343を用いて、信号増幅すると同時に波長一括変換を行う。1480nmの励起光のパワー50mW、1565nmの励起光のパワー50mWに対して、変換効率5dBであり、帯域幅70nmの波長一括変換を行うことができる。

#### 【0054】

なお、図21を参照して後述する非線形ファイバーループミラーに、実施例2のフォトニッククリスタルファイバを15m適用すると、80GHz、8psの高変調した信号光に対して、ゲート光のパワー10mWにより、信号光のスイッチングを行うことができる。

#### 【0055】

##### (実施例3)

図8に、本発明の実施例3にかかるフォトニッククリスタルファイバの作製方法を示す。表1において、熱安定性 $T_x - T_g$ が300℃以上であるNo. 15の組成のガラス原料を溶融したガラス融液を、300~400℃に予加熱したモールドに注入する。注入後300℃付近の温度で10時間以上アニールし、円柱状のガラスブロック601を作製する(図8(a))。ガラスブロック601の長手方向に、3mmφのドリル602で穴を開け、ガラス母材603を作製する(図8(b))。ガラス母材603を、3mmφまで延伸加工し、延伸した母材の線径の一定した部分604を切り出して、フォトニッククリスタルファイバを作製する(図8(c))。

#### 【0056】

図9に、作製したフォトニッククリスタルファイバの断面図を示す。フォトニッククリスタルファイバの外径は110μm、エアホール直径dは1.6μm、エアホール間ピッチΔは2.3μmであり、 $d/\Delta = 0.7$ となる。MFD (Mode Field Diameter) は3μmであり、ファイバの損失は1.55μmで40dB/kmであり、零分散波長は、1.55μmである。

#### 【0057】

長さ150mのフォトニッククリスタルファイバに、波長1.55μm、パルス幅0.5ps、ピークパワー30Wのパルス励起光を入射する。フォトニッククリスタルファイバは、図10に示すように、1.7μm帯域(0.7~2.4μm)にわたるスーパーコンティニューム光を出力した。

#### 【0058】

##### (実施例4)

図11に、本発明の実施例4にかかるフォトニッククリスタルファイバの作製方法を示す。表1において、熱安定性 $T_x - T_g$ が180℃であるNo. 9の組成のガラス原料を溶融したガラス融液802を、300~400℃に予加熱したモールド801a、801bに注入する(図11(a))。モールド801の底面には、基台804から円柱棒状のピン805を複数内側に整列させた治具が設置されている。モールド801にガラス融液802を注入成型した後、すばやくピンを引き抜くことによりエアホールを形成したガラス母材803を作製する(図11(b))。

#### 【0059】

ガラス母材803を用いて、実施例3と同様に延伸・線引きすることにより、フォトニッククリスタルファイバを作製する。作製されたフォトニッククリスタルファイバの断面は、図9と同様であり、外径は120μm、エアホール直径dは1.5μm、エアホール間ピッチΔは2.3μmであり、 $d/\Delta = 0.65$ となる。MFDは2.5μmであり、ファイバの損失は1.55μmで65dB/kmであり、零分散波長は、1.55μmである。

#### 【0060】

長さ50mのフォトニッククリスタルファイバに、波長1.55μm、パルス幅0.5ps、ピークパワー30Wのパルス励起光を入射する。パルスがソリトン効果を受けると



共に、ファイバ内を伝搬するにつれパルススペクトルが長波長側にシフトする「ソリトン自己位相シフト」が観測される。

#### 【0061】

図12に、実施例4にかかるフォトニッククリスタルファイバを用いた波長可変パルス光源を示す。入射パルスのピークパワーを変化させることにより、スペクトルシフト量が増加する効果を利用した波長可変パルス光源である。波長可変パルス光源は、10GHzで変調されたパルス光源901に、光増幅器902と、長さ50mの本実施形態にかかるフォトニッククリスタルファイバ903と、プログラマブルPLC合分波器904とを縦続接続する。

#### 【0062】

さらに、プログラマブルPLC合分波器904の出力に、光増幅器905と、長さ50mの本実施形態にかかるフォトニッククリスタルファイバ906とを縦続接続する。このような構成により、波長可変パルス光源は、10~100Gbit/sのチャンネルレートで、波長可変範囲が150nm(1550~1700nm)である。

#### 【0063】

##### (実施例5)

図13、14に、本発明の実施例5にかかるフォトニッククリスタルファイバの作製方法を示す。表1において、熱安定性T<sub>x-Tg</sub>が160℃であるNo. 12の組成のガラス原料を溶融したガラス融液1102を、300~400℃に予加熱した内形状が正六角形のモールド1101に注入する(図13(a))。モールド1101を水平に保持したまま高速回転させるローテーションキャスト法により中空のエアホールを有するガラスブロック1103を作製し、そのまま延伸する(図13(b))。

#### 【0064】

延伸したガラスブロック1103の線径の一定した部分1104を切り出し、複数のガラスブロックを束ねて、再び延伸する(図13(c))。線径の一定した部分1105を切り出し、実施例1と同様に作製したジャケット管1106(図13(d))に挿入する。実施例1と同様に延伸・線引きすることにより、フォトニッククリスタルファイバ1107を作製する(図14(a))。

#### 【0065】

図14(b)に、フォトニッククリスタルファイバ1107の断面図を示す。ファイバの外径は120μm、エアホール直径dは1.725μm、エアホール間ピッチΔは2.3μmであり、d/Δ=0.75となる。MFDは2.6μmであり、ファイバの損失は1.55μmで55dB/kmであり、零分散波長は、1.55μmである。

#### 【0066】

図15に、実施例5にかかるフォトニッククリスタルファイバを用いたパラメトリック光増幅器を示す。パラメトリック光増幅器は、波長可変光源1301に、アイソレータ1302と、長さ150mの実施例5にかかるフォトニッククリスタルファイバ1303と、光カプラ1304とを縦続接続する。光カプラ1304には、波長1560nm、励起光パワー1.5Wの光源の出力を、EDFA増幅器1306を介して後方より入射する。

#### 【0067】

図16に、パラメトリック光増幅器の出力スペクトルを示す。-30dBmの信号光を用いて波長スキャン測定を行った結果であり、1500~1620nmにわたる120nmの波長帯において20dB以上の利得を得た。

#### 【0068】

##### (実施例6)

図17に、本発明の実施例6にかかるフォトニッククリスタルファイバの作製方法を示す。コアガラスは、表1のNo. 18の組成を用い、T<sub>m</sub>を4000ppm添加する。クラッドガラスは、表1のNo. 17の組成を用いる。モールド1501は、図1(a)に示したモールドと同様に、内壁の内側に凸となる部分が複数形成され、底部に向かって円錐状に拡大加工してある(図17(a))。モールド1501を300~400℃に予加



熱し、クラッドのガラス融液1502、コアのガラス融液1503の順に注入し、クラッドガラスの体積収縮によりコアガラスを円錐状に吸い込み成型したガラス母材1504を作製する(図17(b))。コアガラスの吸い込み長さは、15mmである。

#### 【0069】

ガラス母材1504を用いて、実施例1と同様な延伸・線引き加工を行い、フォトニッククリスタルファイバ1505を作製する。図17(c)に断面図を示す。フォトニッククリスタルファイバ1505の外径は110 $\mu$ m、エアホール内径は35 $\mu$ m、十字の中心部分は2.4 $\mu$ m、Tmの添加されたコア径は1.5 $\mu$ mである。MFDは2.9 $\mu$ mであり、ファイバの損失は1.55 $\mu$ mで30dB/kmであり、コアとしてクラッドと異なるガラス成分を導入したことにより、コア/クラッド構造を有しない場合と比べて低損失化が可能である。零分散波長は、1.52 $\mu$ mである。

#### 【0070】

実施例6にかかるフォトニッククリスタルファイバを、市販の融着接続機を用いて、石英ファイバ(比屈折率4%、MFD3 $\mu$ m)と接続を行うと、0.2dBの損失および-50dB以下の反射減衰量で接続することができる。比較のために、実施例1にかかる単一組成のフォトニッククリスタルファイバと石英ファイバとを接続すると、コア形状が崩れるため、2dBの損失、-19dBの反射減衰量となる。

#### 【0071】

実施例6にかかるフォトニッククリスタルファイバを20m用いて、図5に示した波長変換装置に適用する。合波されたWDM信号光Esは、1480~1510nmの波長帯に100GHz間隔に32波のWDM信号を多重した信号である。励起光Epは、Tmの励起に用いる1410nmの励起光と、波長変換およびTmの励起の両方に用いる1520nmの励起光である。波長変換装置は、信号増幅すると同時に32波のWDM信号の波長を一括変換して、変換光Ecを出力する。1420nmの励起光のパワー50mW、波長変換の励起光のパワー50mWに対して、変換効率5dB、帯域幅70nmの波長一括変換を行うことができる。

#### 【0072】

##### (実施例7)

図18に、本発明の実施例7にかかるフォトニッククリスタルファイバの作製方法を示す。コアガラスは、表1のNo. 20の組成を用い、クラッドガラスは、表1のNo. 21の組成を用いる。モールド1601は、図1(a)に示したモールドと同様に、内壁の内側に凸となる部分が複数形成され、底部に向かって円錐状に拡大加工してある(図18(a))。さらに、モールド1601の底の部分には、基台1602が設置され、基台1602中央の可動部材1603をスライドさせることにより、モールド1601の底の部分に穴ができる形状を有している。

#### 【0073】

モールド1601を300~400℃に予加熱し、基台1602を別に350~450℃に予加熱し、クラッドのガラス融液1604、コアのガラス融液1605の順に注入する。クラッドガラスの体積収縮と底面に穴があくことにより、クラッドガラスの中心部が流れ出し、コアガラスを吸い込み成型したガラス母材1606を得ることができる。コアの吸い込み長さは25mmである。

#### 【0074】

ガラス母材1606を用いて、実施例1と同様な延伸・線引き加工を行い、フォトニッククリスタルファイバを作製した。フォトニッククリスタルファイバの構造は、図17(c)と同じであり、ファイバの外径は115 $\mu$ m、エアホール内径は20 $\mu$ m、十字の中心部分は2.8 $\mu$ m、コア径は1.2 $\mu$ mである。MFDは2.5 $\mu$ mであり、ファイバの損失は1.55 $\mu$ mで25dB/kmであり、零分散波長は、1.55 $\mu$ mである。

#### 【0075】

図19に、実施例6にかかるフォトニッククリスタルファイバを用いた光カーシャッタ実験系を示す。光カーシャッタ実験系は、波長1552nmの制御光を出力するDFB-

LD1701と、波長1535nmの信号光を出力するDFB-LD1702と、制御光を増幅するErドープファイバンプ1703とを備え、制御光と信号光とが互いに偏波方向が45度の角度をなすように、長さ10mのフォトニッククリスタルファイバ1704に入力される。フォトニッククリスタルファイバ1704の出力から、信号光を分岐して、偏光子1705を介してストリークカメラ1706に入力する。

#### 【0076】

このような構成により、制御光を入射しない場合には、信号光の偏波はある一定の方向でフォトニッククリスタルファイバ1704中を伝播し、偏光子1705で遮断される。一方、制御光を入射した場合には、フォトニッククリスタルファイバ1704の非線形屈折率効果により、信号光の偏波成分が変化して、偏光子1705を透過する。このようにして、幅8psの信号光パルスを送信することができ、スイッチングすることができる。

#### 【0077】

##### (実施例8)

図20に、本発明の実施例8にかかるフォトニッククリスタルファイバの作製方法を示す。コアガラスは、表1のNo. 13の組成を用い、クラッドガラスは、表1のNo. 16の組成を用いる。モールド1801は、図1(a)に示したモールドと同様に、内壁の内側に凸となる部分が複数形成され、下部を円錐状に拡大加工してある(図20(a))。さらに、モールド1801の底の部分には、基台1802が設置され、基台1802中央の可動部材1803をスライドさせることにより、モールド1801の底の部分に穴ができる。この穴を用いて、モールド1801の下から真空脱気を行う。

#### 【0078】

モールド1801を300~400℃予加熱し、基台1802を別に350~450℃に予加熱し、クラッドのガラス融液1804、コアのガラス融液1805の順に注入する。クラッドガラスの体積収縮と底面の穴から真空脱気することにより、クラッドガラスの中心部が流れ出し、コアガラスを吸い込みこみ成型したガラス母材1806を得ることができる。コアの吸い込み長さは、50mmである。

#### 【0079】

ガラス母材1806を用いて、実施例1と同様な延伸・線引き加工を行い、フォトニッククリスタルファイバを作製した。フォトニッククリスタルファイバの構造は、図17(c)と同じであり、ファイバの外径は120μm、エアホール内径は28μm、十字の中心部分は2.6μm、コア径は1.3μmである。MFDは2.3μmであり、ファイバの損失は1.55μmで28dB/kmであり、零分散波長は、1.56μmである。

#### 【0080】

図21に、実施例8にかかるフォトニッククリスタルファイバを用いた非線形ファイバーループミラーを示す。非線形ファイバーループミラーは、ゲート光を入力する光カプラ1901と、長さ15mのフォトニッククリスタルファイバ1902と、ゲート光を出力する光カプラ1903と、信号光を入出力する光カプラ1904とが縦続接続されてループを構成している。

#### 【0081】

信号光は、光カプラ1904で2分岐されて、フォトニッククリスタルファイバ1902を順方向と逆方向に伝播する。再び、光カプラ1904に入力されて、互いに干渉し、出力される。このとき、光カプラ1901から入力するゲート光により、フォトニッククリスタルファイバ1902における信号光の位相変化を制御してスイッチングを行う。ゲート光のパワー200mWにより、80GHz、8psの高変調された信号光のスイッチングを行うことができる。

#### 【0082】

##### (実施例9)

図1に示した実施例1と同じ作製方法を用いて、表1のNo. 11の組成により延伸工程までを行った。実施例1ではエアホールに対する加圧を一定にし、線引き張力を樹脂被服するダイスを通す前の値で50g以上になるように調整した。図2に示したように、フ

フォトニッククリスタルファイバの外径は、 $110\mu\text{m}$ である。この方法で作製したファイバ(1000m)と線引き張力を30gで加工したファイバ2(1000m)とについて、エアホール内径の長手方向の安定性について比較した。

#### 【0083】

ファイバ1は、エアホール内径の設計値が $26\mu\text{m}$ に対して誤差が $\pm 5\mu\text{m}$ ある。実際に使うことのできる $26\mu\text{m} \pm 1\mu\text{m}$ 以内の箇所は、全体の70%であり、短いものでも50m以上採ることができる。一方、ファイバ2は、エアホール内径は設計値の $26\mu\text{m}$ に対して誤差が $\pm 20\mu\text{m}$ ある。実際に使うことのできる $26\mu\text{m} \pm 1\mu\text{m}$ 以内の箇所は、全体の20%であり、50m以上採ることができる部分は数箇所にとどまった。

#### 【0084】

以上の比較から、エアホールのサイズを設計値と合せ、一定保持できるように線引きする工程において、線引き張力を樹脂被服するダイスを通す前の値で50g以上に設定することが重要である。また、他のフォトニッククリスタルファイバの線引き工程においてもこの設定が重要である。ファイバ1の十字の中心部分は $2.6\mu\text{m}$ であった。MFDは $2.4\mu\text{m}$ であり、ファイバの損失は $1.55\mu\text{m}$ で $24\text{dB/km}$ であり、零分散波長は $1.56\mu\text{m}$ である。

#### 【0085】

図22に、本発明の一実施形態にかかるクロック再生装置を示す。WDM伝送システムのクロック再生装置2003は、トランスミッタ2001から送信されたWDM信号を入力する波長選択フィルタ2002から、選択された1波長信号を、クロック再生部2301で受信し、RFクロックを抽出する。抽出したクロックをモードロックファイバレーザにて光パルスに再生し、EDFA2302にて増幅して、長さ30mのフォトニッククリスタルファイバ2303に入射する。フォトニッククリスタルファイバ2303にて発生する $1.5 \sim 1.6\mu\text{m}$ の100nm帯域にわたるスーパーコンティニューム光を、AWG2304に入力する。AWG2304によってフィルタリングされることにより、単一チャンネルのクロック再生により波長多重されたチャンネル分のクロックパルスを再生することができる。

#### 【0086】

任意の1チャンネルのクロックパルスを、長さ50mフォトニッククリスタルファイバを用いた非線形ループミラー2004に入射する。WDM信号の対応するチャンネルをゲート光として、非線形ループミラー2004に入力し、劣化した信号品質を復元する光3R再生を実現することができる。

#### 【0087】

以上の実施例において、モールドの内壁の内側に凸となる部分が複数形成され、4つのエアホールが作製されたが、個数についてはこれに限定されるものではない。また、光ファイバの組成としてテルライトガラスを例示したが、本発明の作製方法についてはこれに限定されるものではない。さらに、本ファイバを用いた光デバイスは、本ファイバを高非線形ファイバとして利用する光デバイスであって、上述した実施例に限定されるものではない。

#### 【産業上の利用可能性】

#### 【0088】

本発明の光ファイバ及びその製造方法で作製された非線形デバイスは、光通信システムにおいて高性能化、大容量化、低価格化を進めることに有効であり、その結果、それらのシステムを用いたサービスの高度化、経済化に大きく寄与できる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0089】

【図1】本発明の実施例1にかかるフォトニッククリスタルファイバの作製方法を示す工程図である。

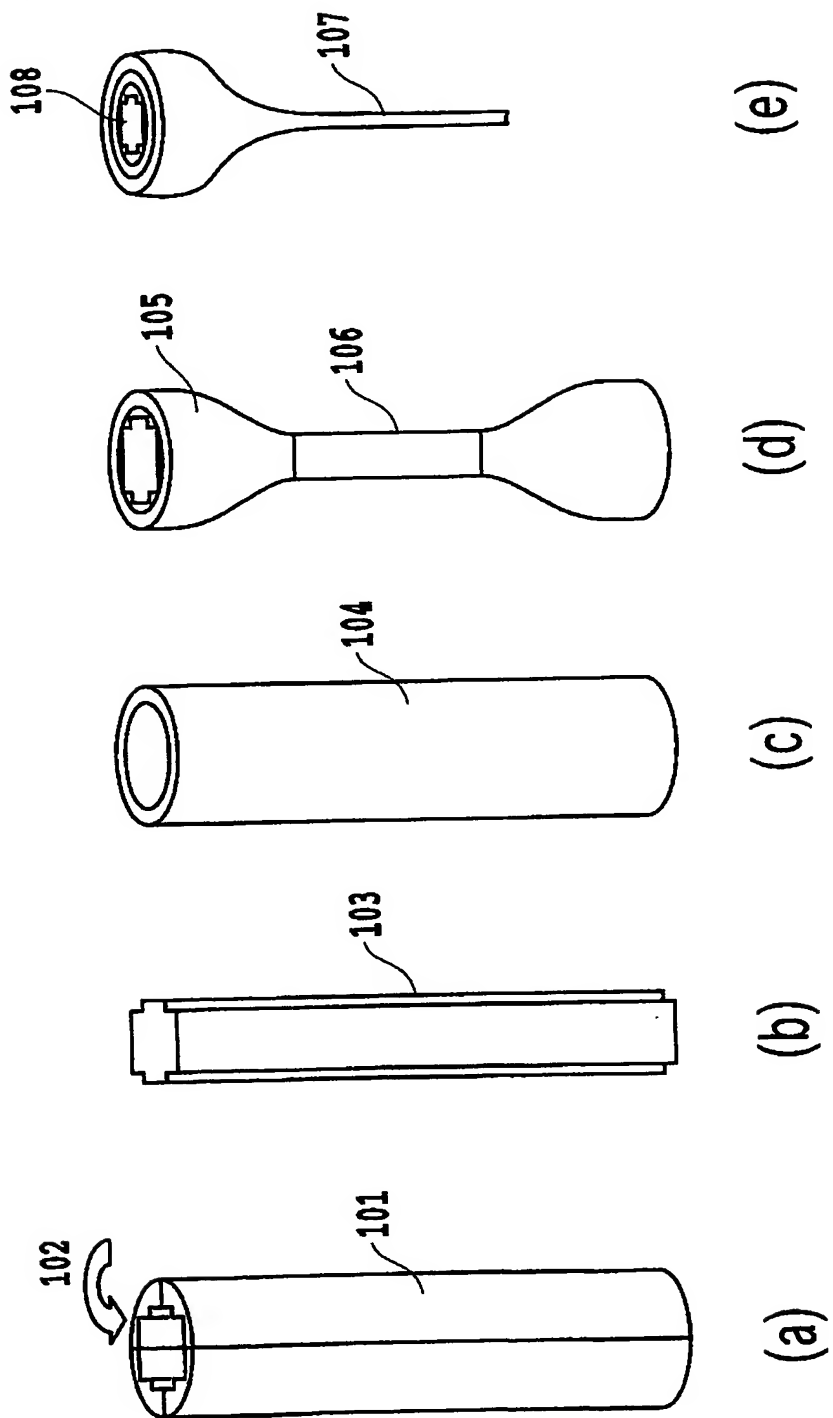
【図2】本発明の実施例1にかかるフォトニッククリスタルファイバを示す断面図である。

- 【図 3】実施例 1 にかかるフォトニッククリスタルファイバの分散を示す図である。
- 【図 4】実施例 1 にかかるフォトニッククリスタルファイバのコア径と零分散波長の関係を示す図である。
- 【図 5】本発明の一実施形態にかかる波長変換装置を示す構成図である。
- 【図 6】波長変換装置の出力スペクトルを示す図である。
- 【図 7】本発明の実施例 2 にかかるフォトニッククリスタルファイバの作製方法を示す工程図である。
- 【図 8】本発明の実施例 3 にかかるフォトニッククリスタルファイバの作製方法を示す工程図である。
- 【図 9】本発明の実施例 3 にかかるフォトニッククリスタルファイバを示す断面図である。
- 【図 10】発生したスーパーコンティニューム光のスペクトルを示す図である。
- 【図 11】本発明の実施例 4 にかかるフォトニッククリスタルファイバの作製方法を示す工程図である。
- 【図 12】本発明の一実施形態にかかる波長可変パルス光源を示す構成図である。
- 【図 13】本発明の実施例 5 にかかるフォトニッククリスタルファイバの作製方法を示す工程図である。
- 【図 14】実施例 5 にかかる作製方法とフォトニッククリスタルファイバの断面を示す図である。
- 【図 15】本発明の一実施形態にかかるパラメトリック光増幅器を示す構成図である。
- 【図 16】パラメトリック光増幅器の出力スペクトルを示す図である。
- 【図 17】本発明の実施例 6 にかかるフォトニッククリスタルファイバの作製方法と、フォトニッククリスタルファイバの断面を示す図である。
- 【図 18】本発明の実施例 7 にかかるフォトニッククリスタルファイバの作製方法を示す工程図である。
- 【図 19】本発明の一実施形態にかかる光カーシャッタ実験系を示す構成図である。
- 【図 20】本発明の実施例 8 にかかるフォトニッククリスタルファイバの作製方法を示す工程図である。
- 【図 21】本発明の一実施形態にかかる非線形ファイバーループミラーを示す構成図である。
- 【図 22】本発明の一実施形態にかかるクロック再生装置を示す構成図である。

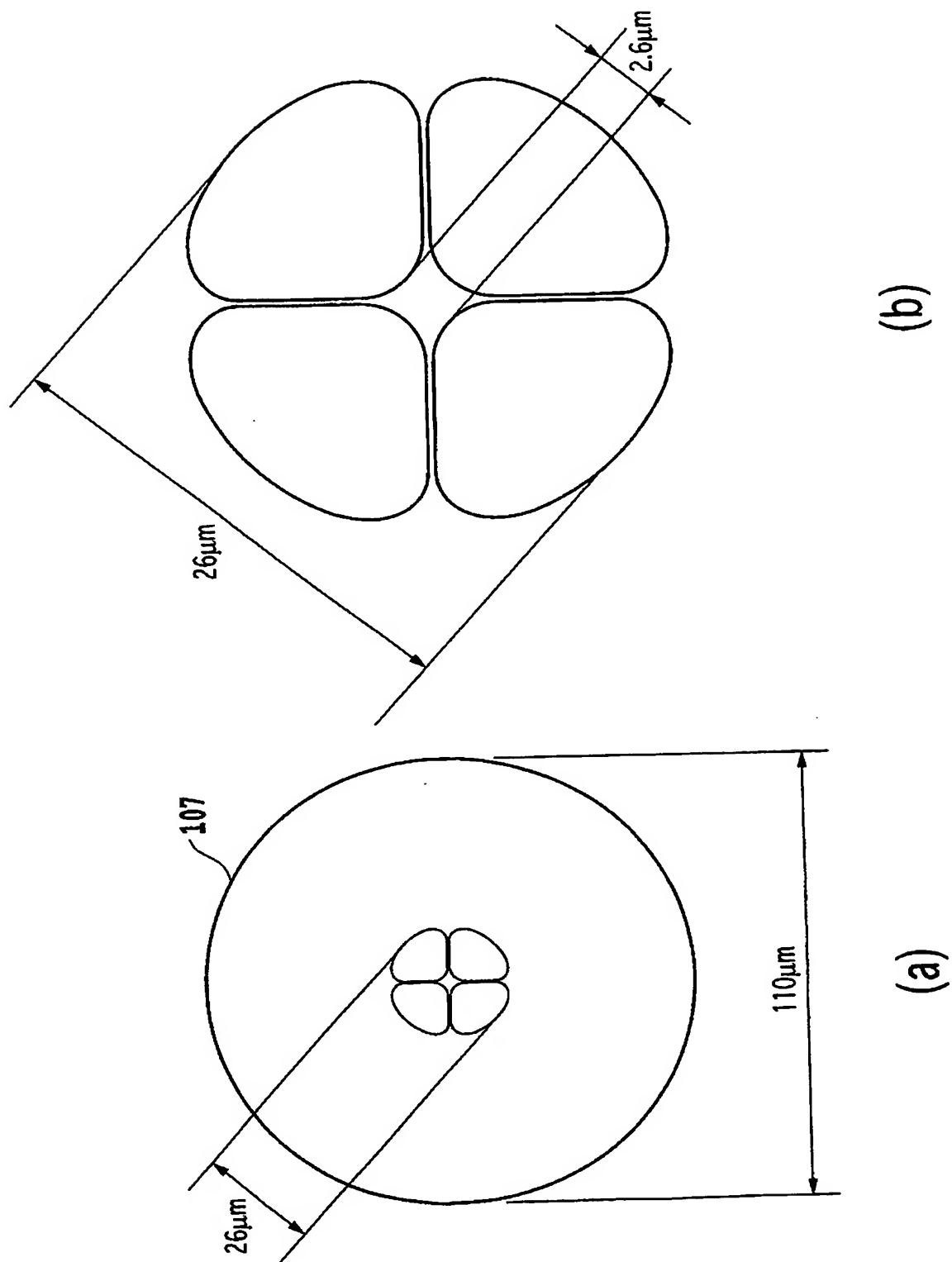
**【符号の説明】****【0090】**

- 101 金属モールド
- 102 ガラス融液
- 103 ガラス母材
- 104 ジャケット管
- 105 延伸した母材
- 106 線径の一定した部分
- 107 フォトニッククリスタルファイバ
- 108 ホールの形成された部分

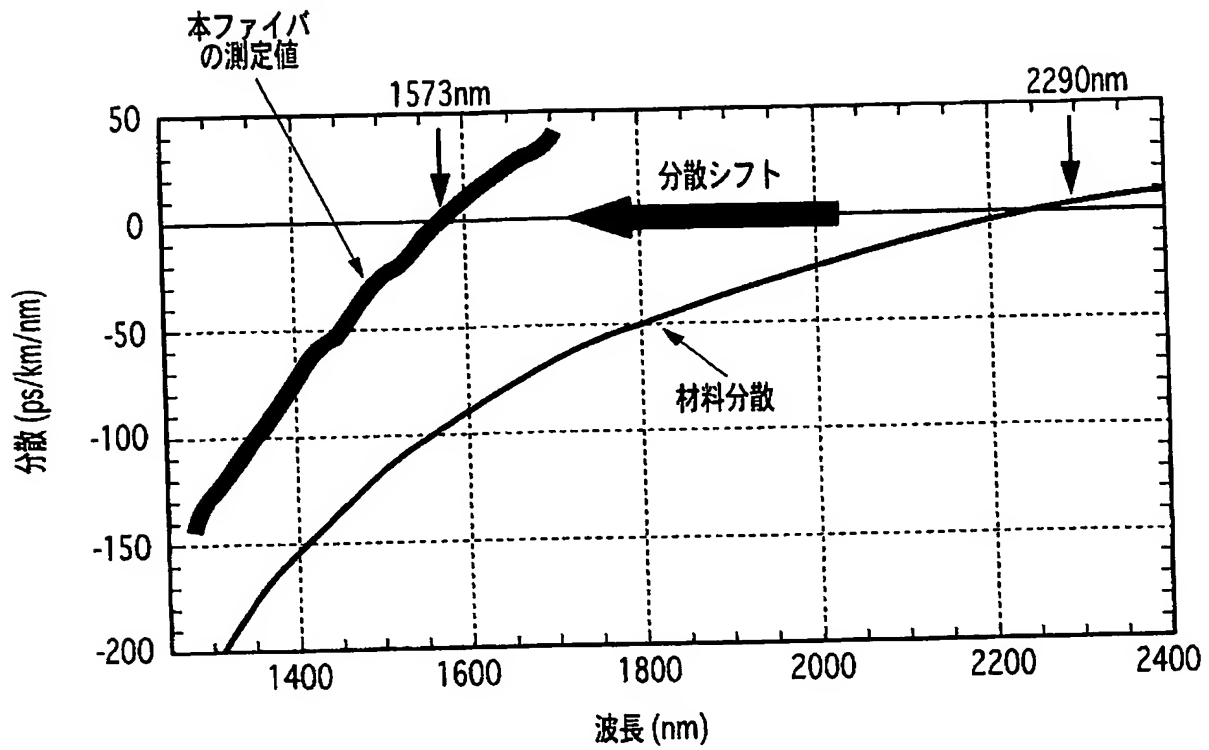
【書類名】図面  
【図1】



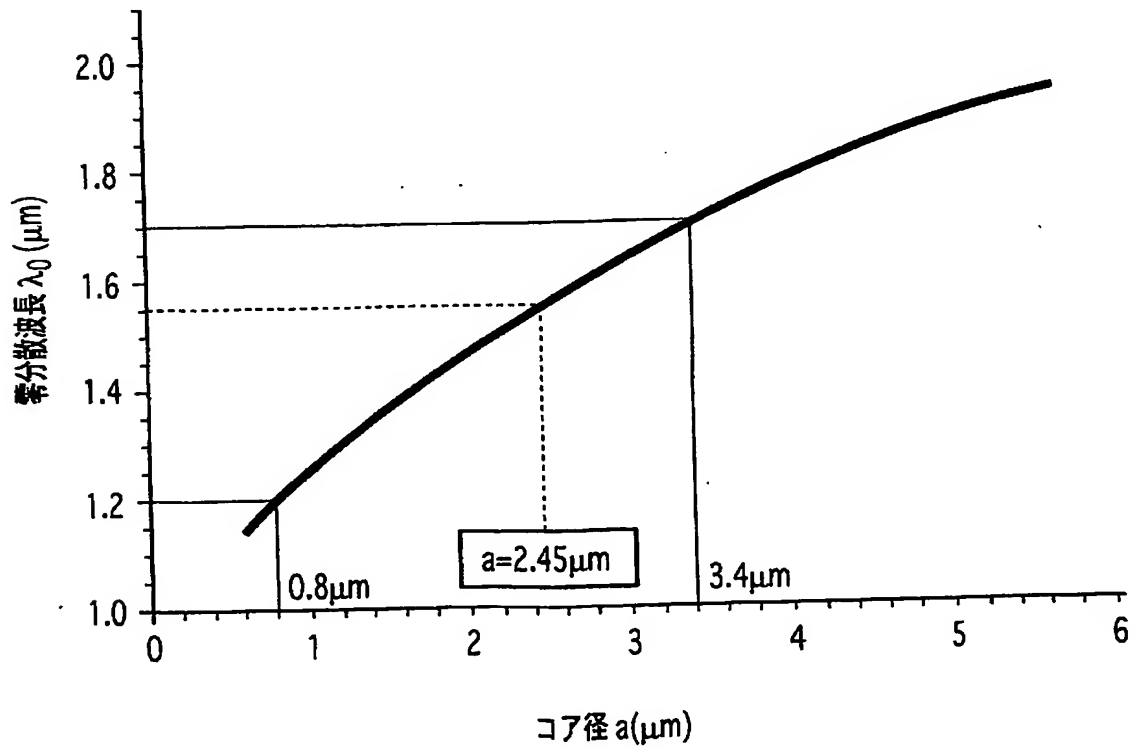
【図 2】



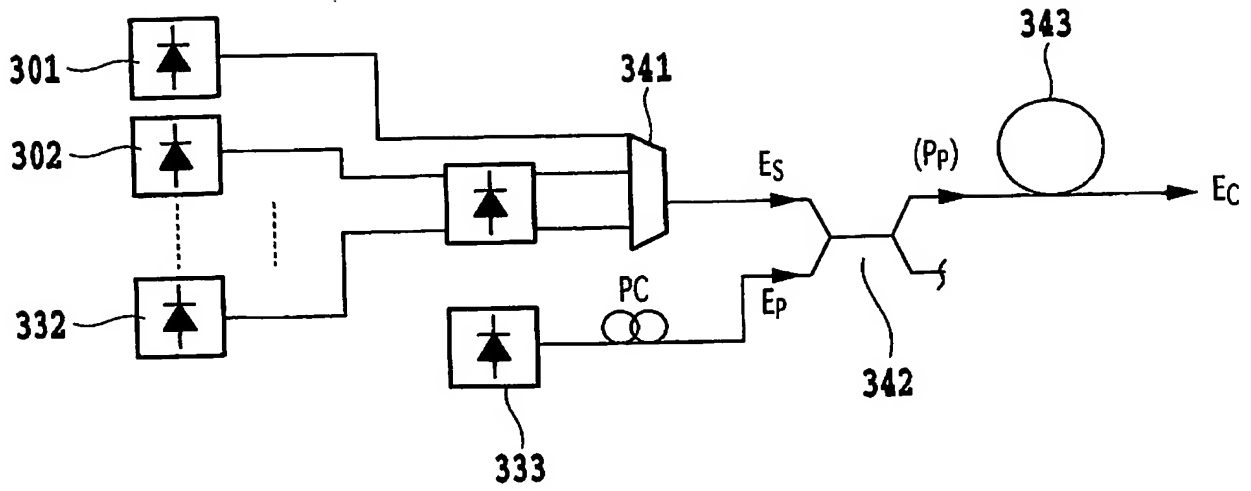
【図 3】



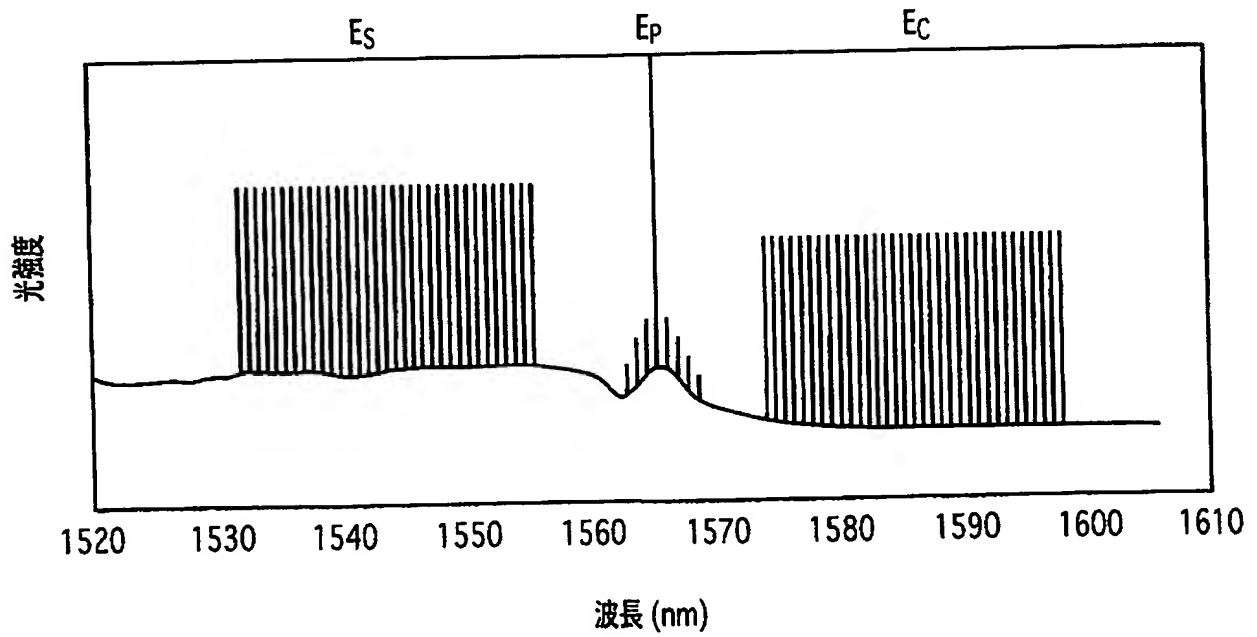
【図 4】



【図 5】

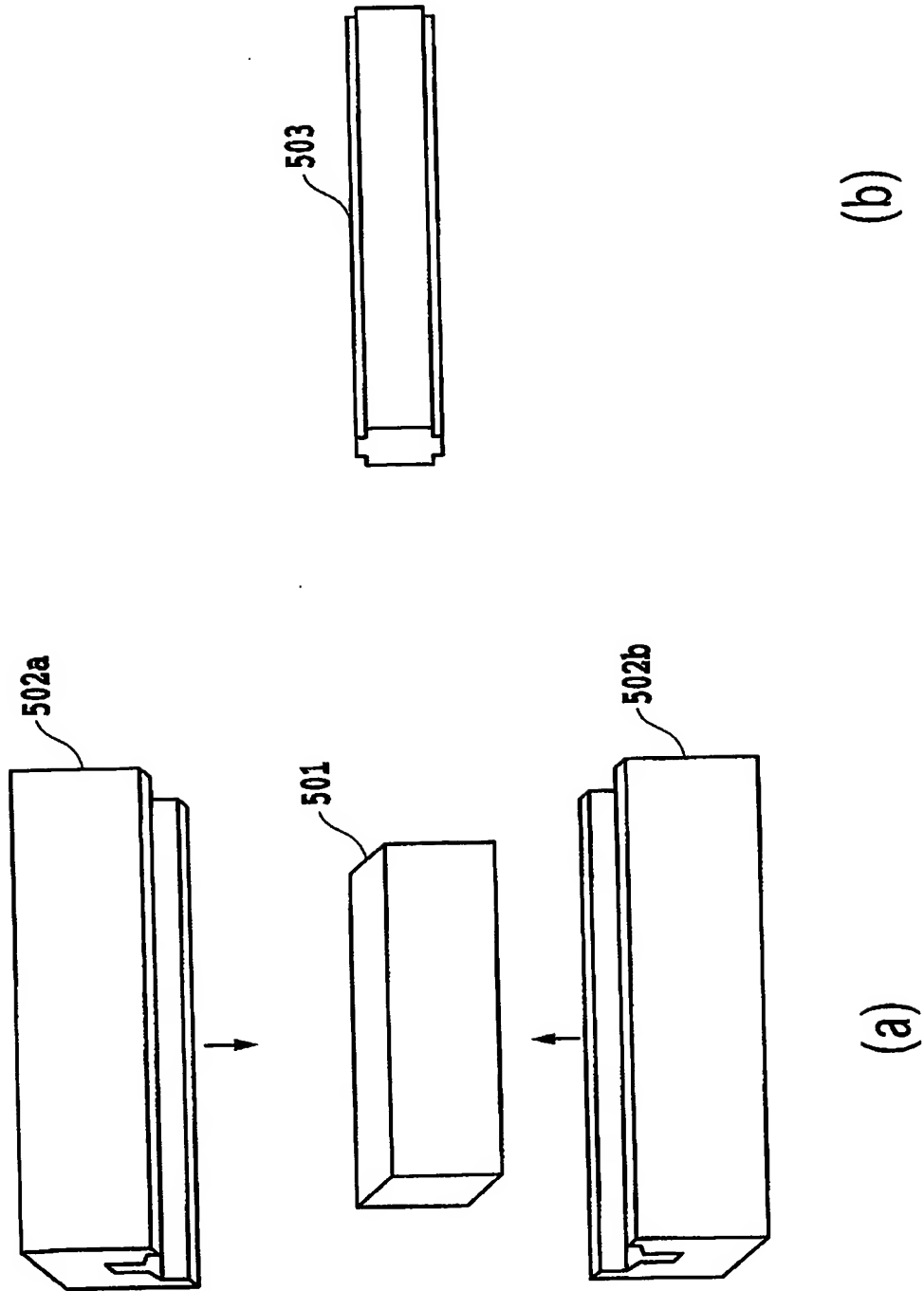


【図 6】

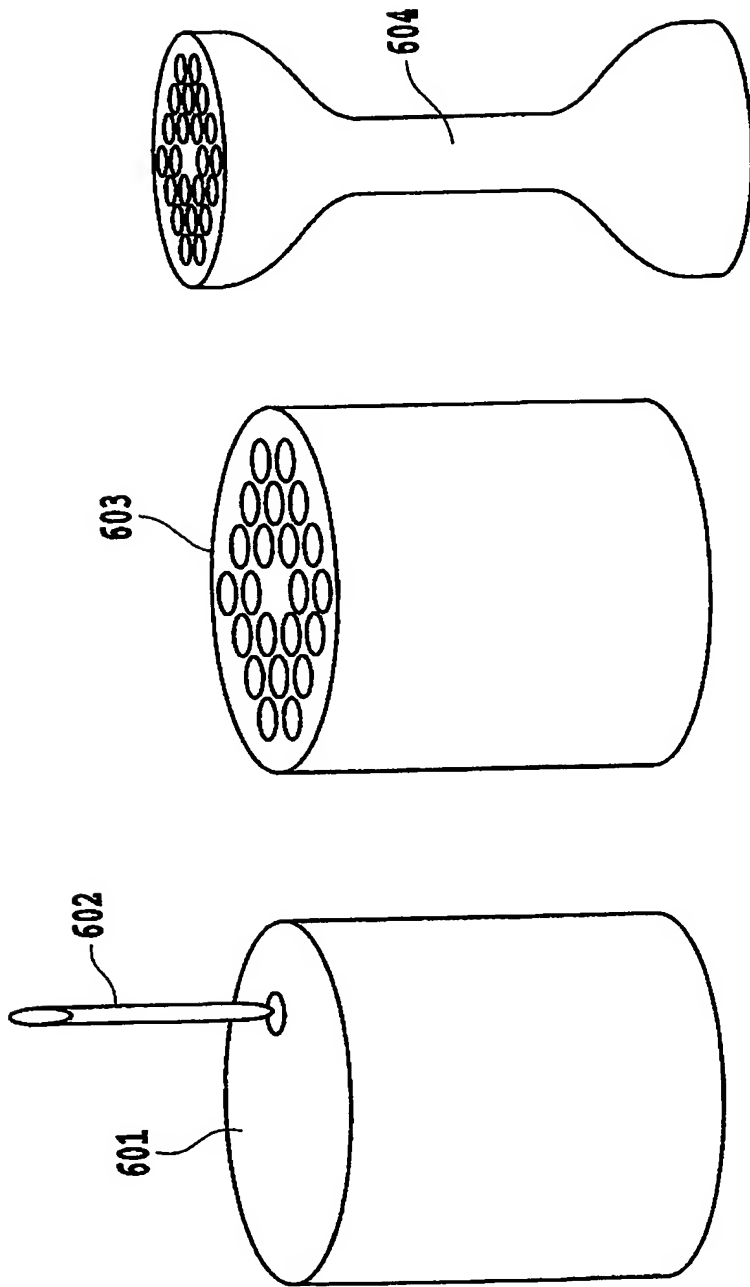




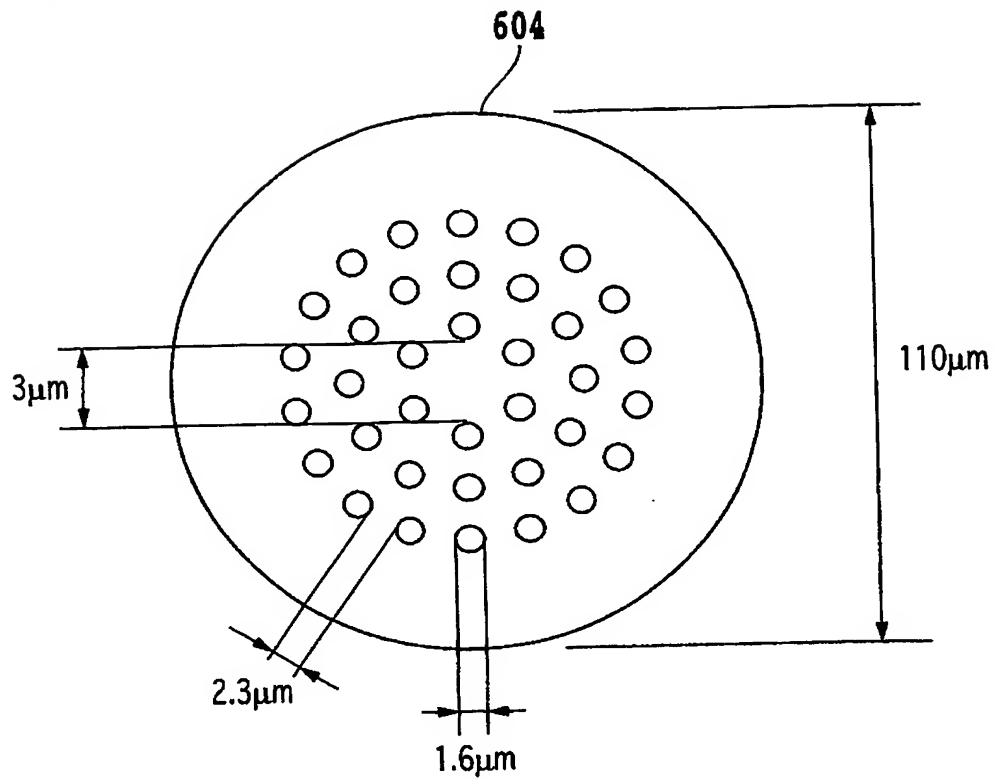
【図 7】



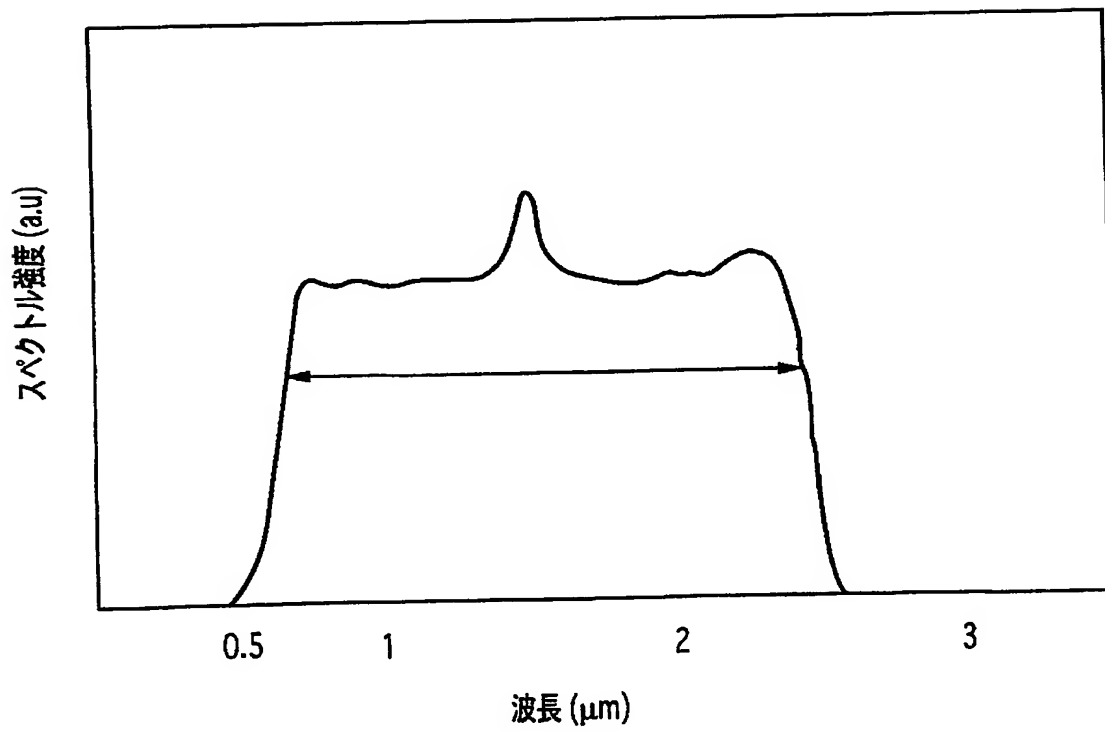
【図 8】



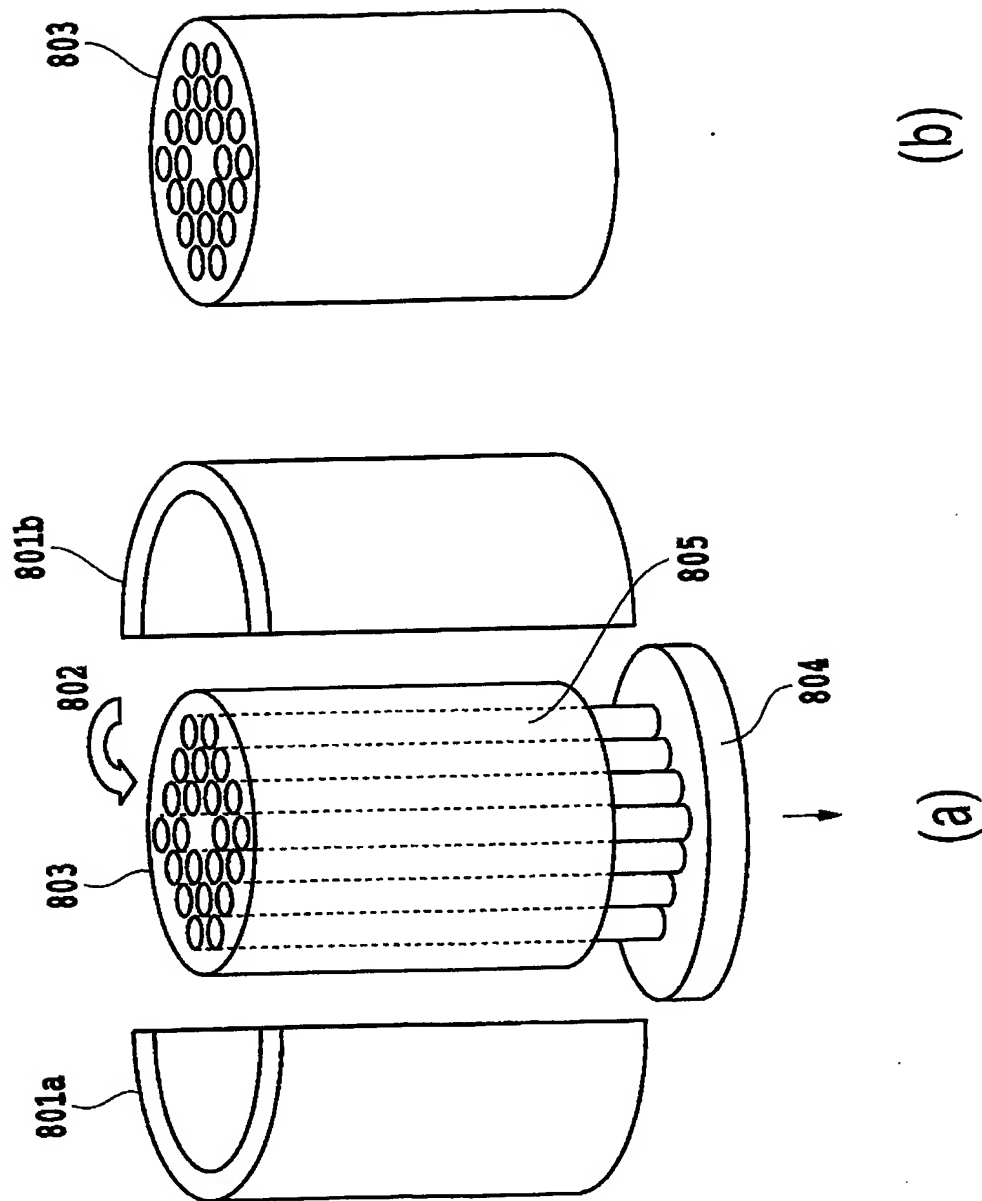
【図 9】



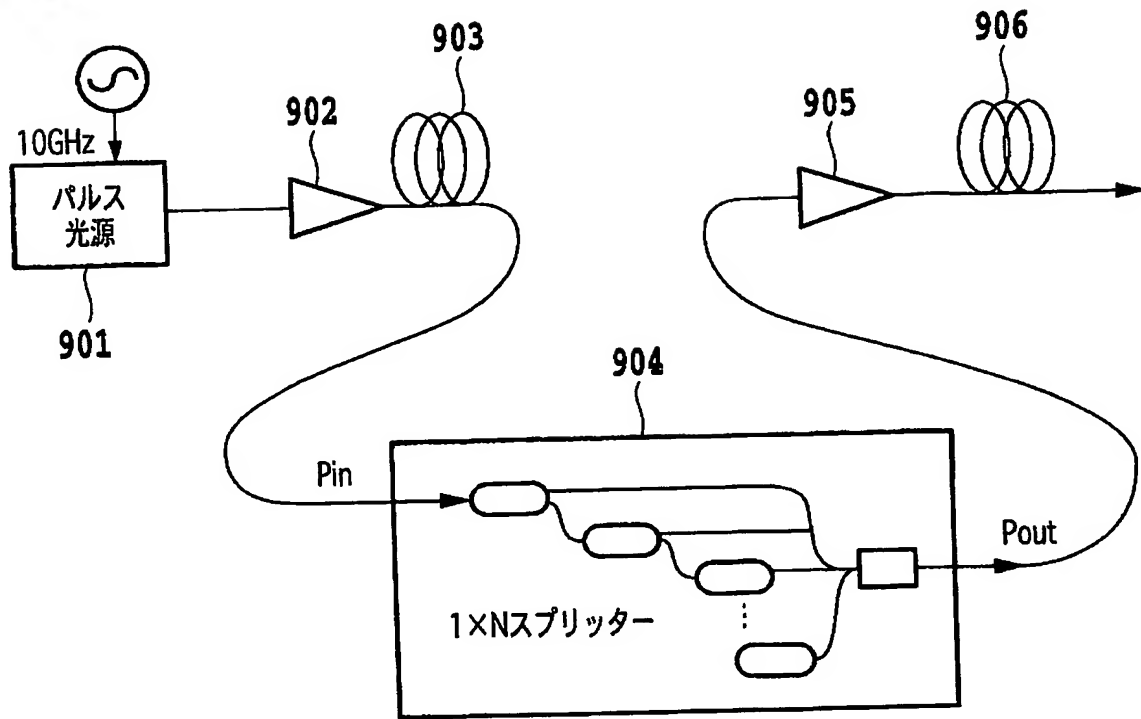
【図 10】



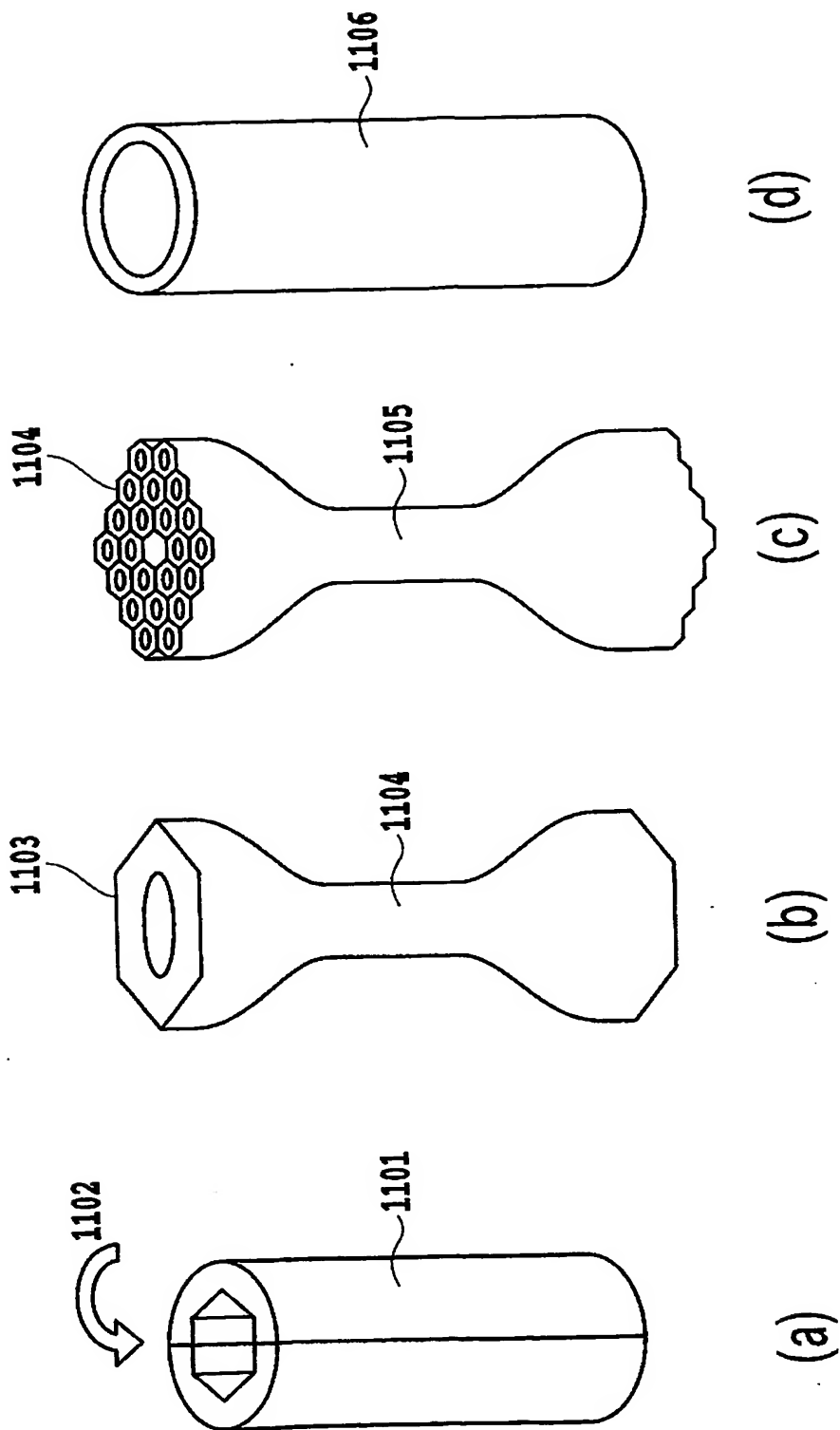
【図 11】



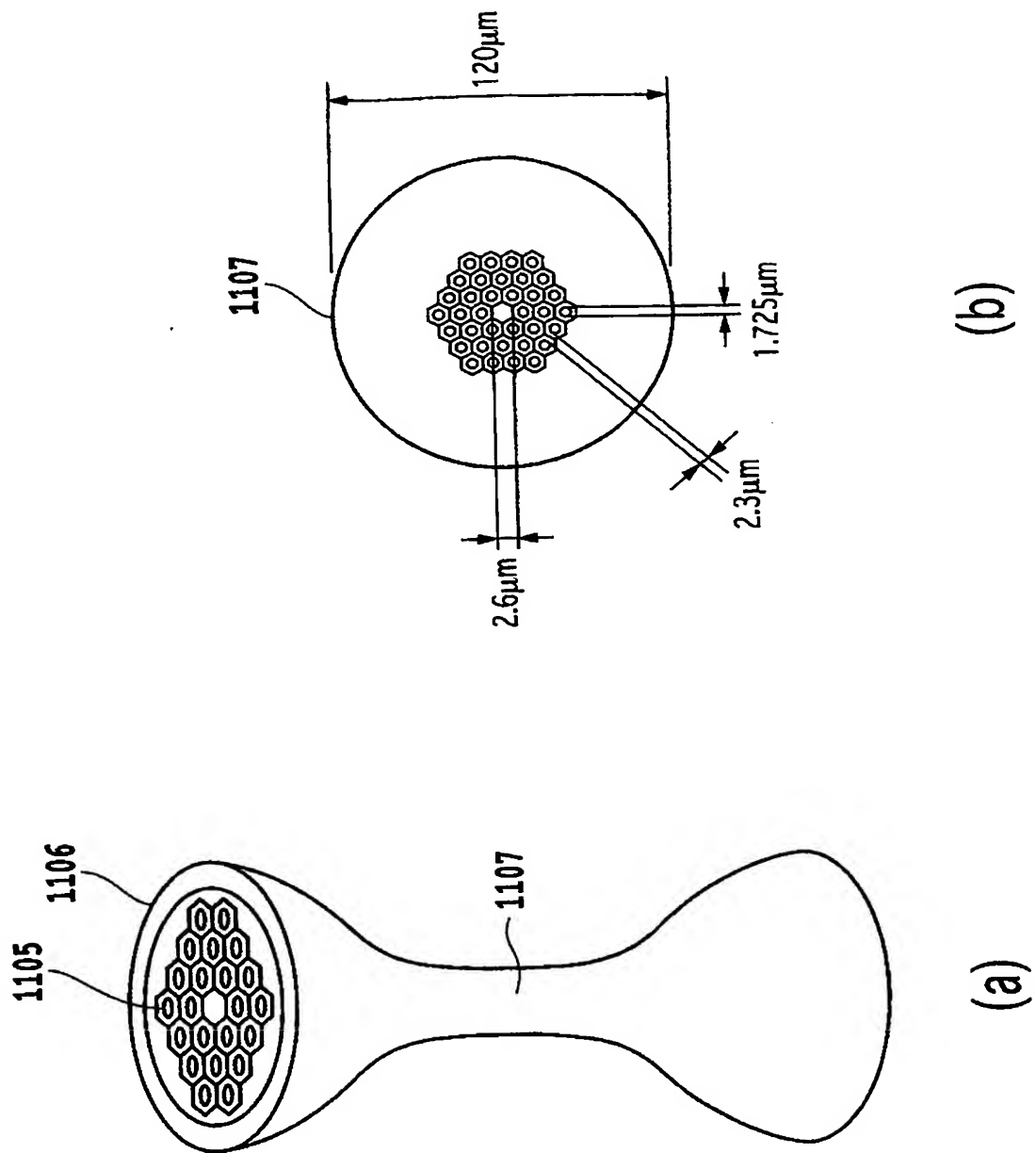
【図 1 2】



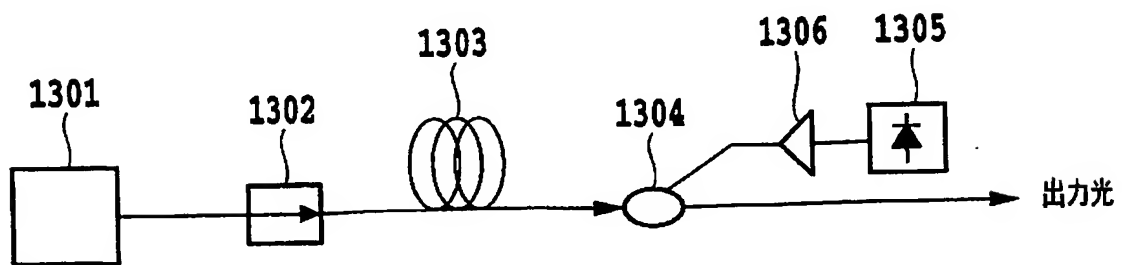
【図 13】



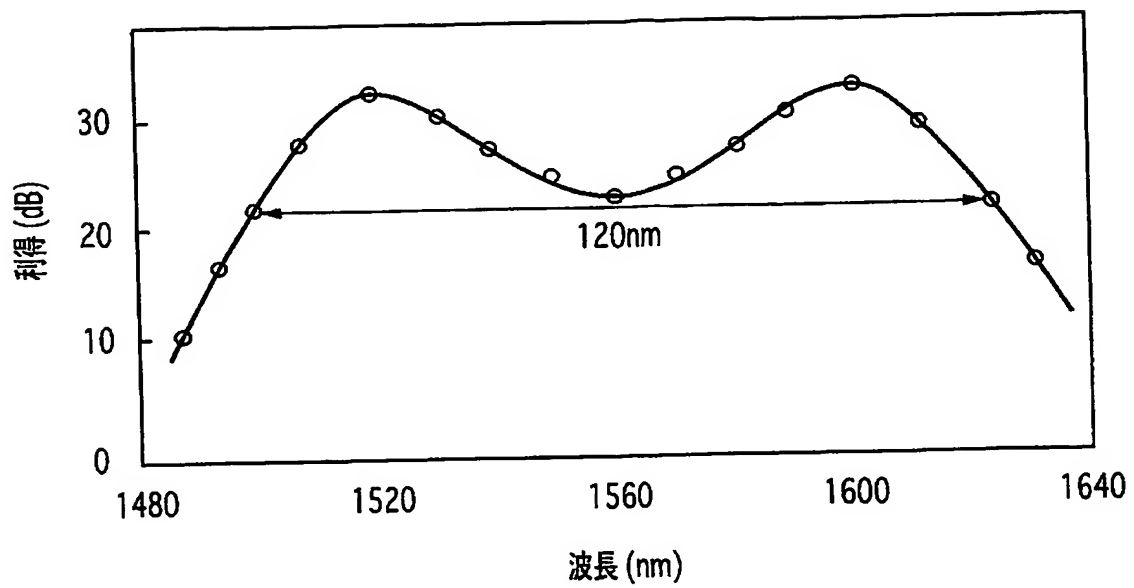
【図 14】



【図 15】

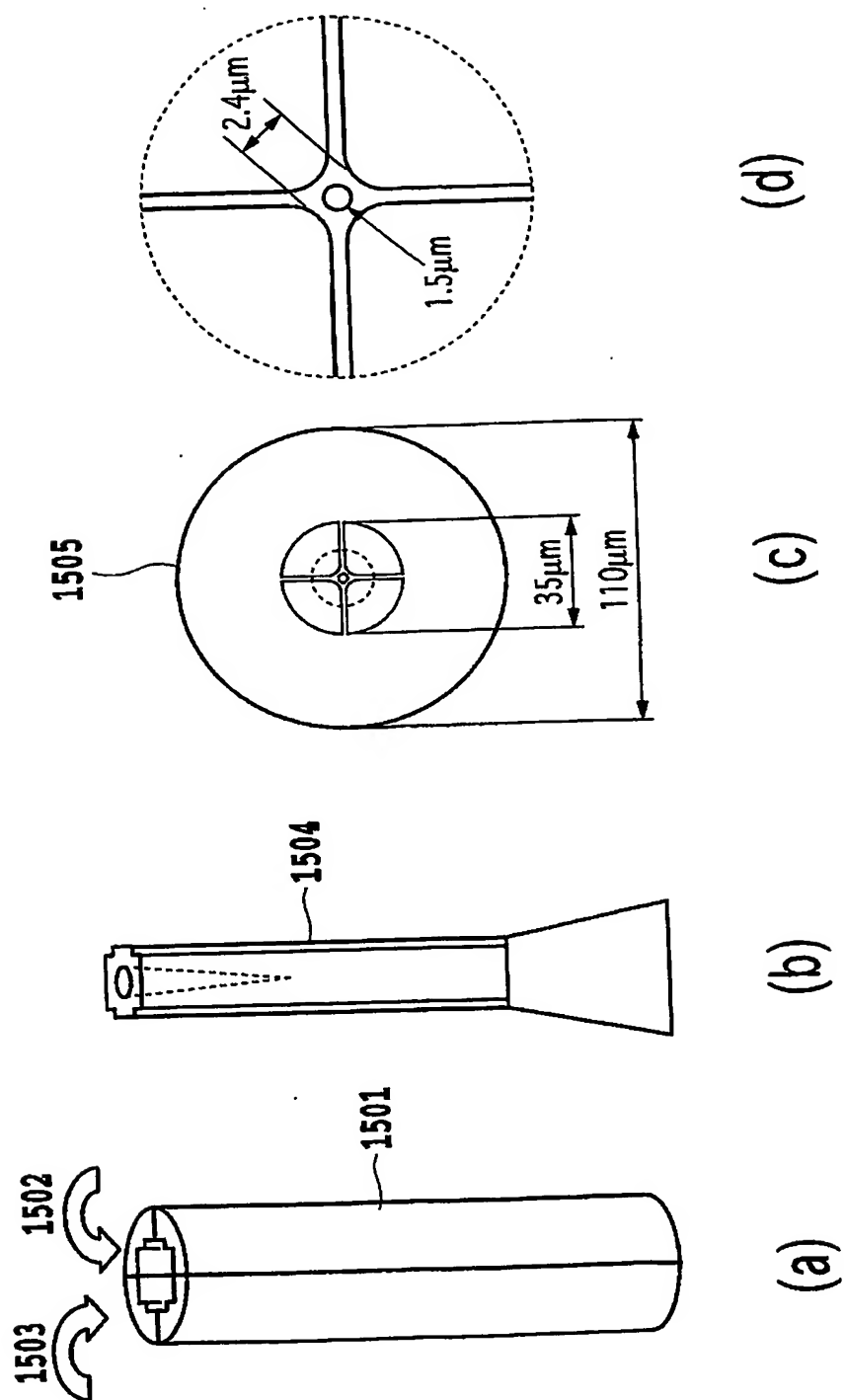


【図 16】

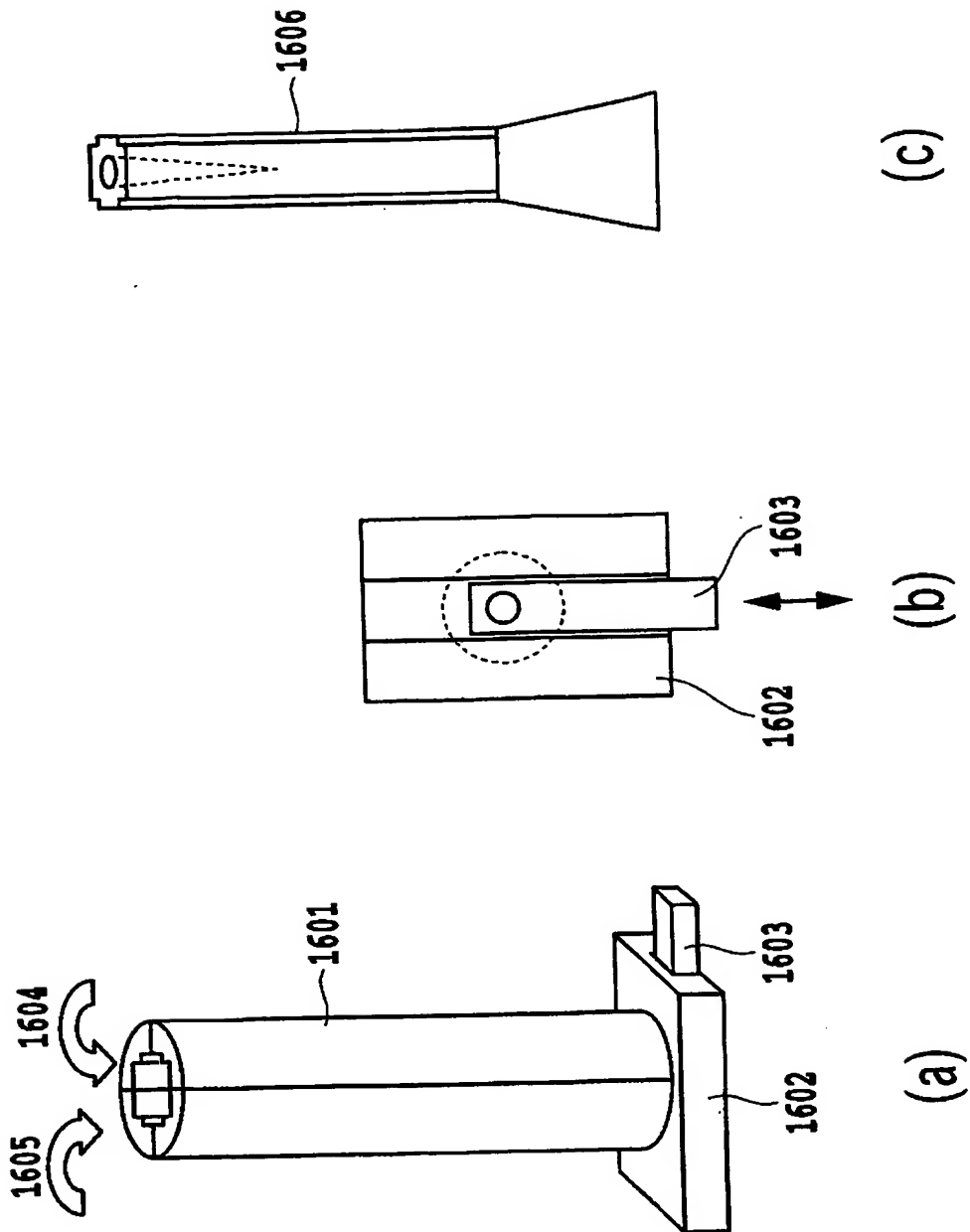




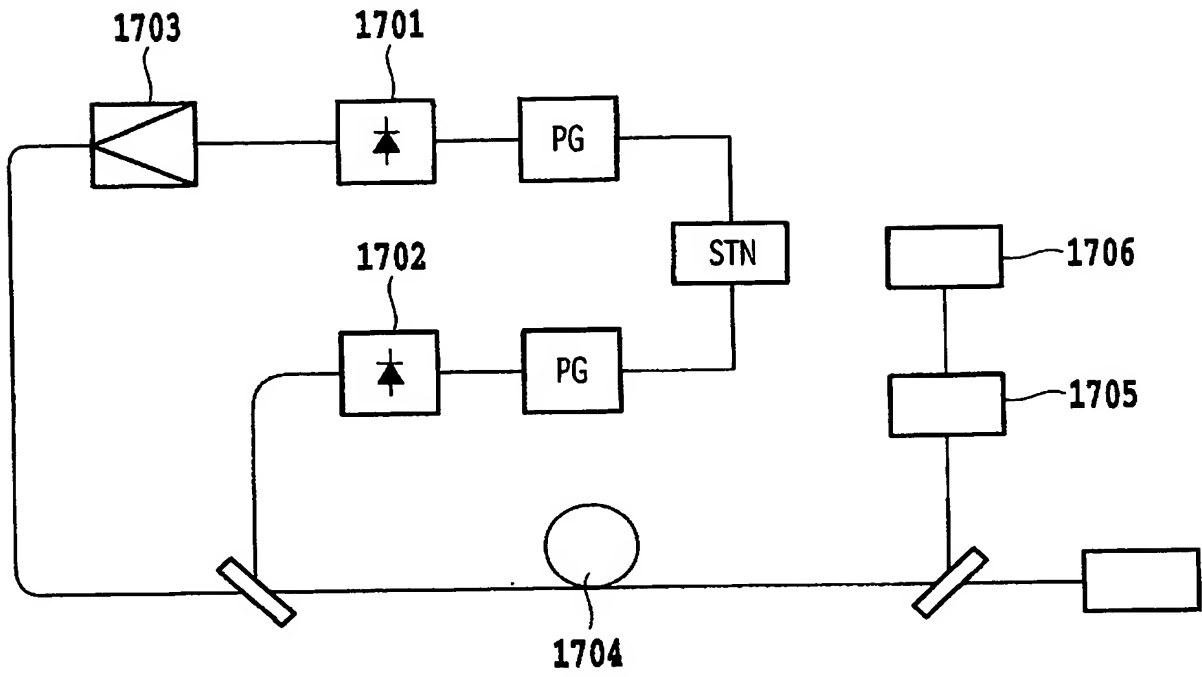
【図17】



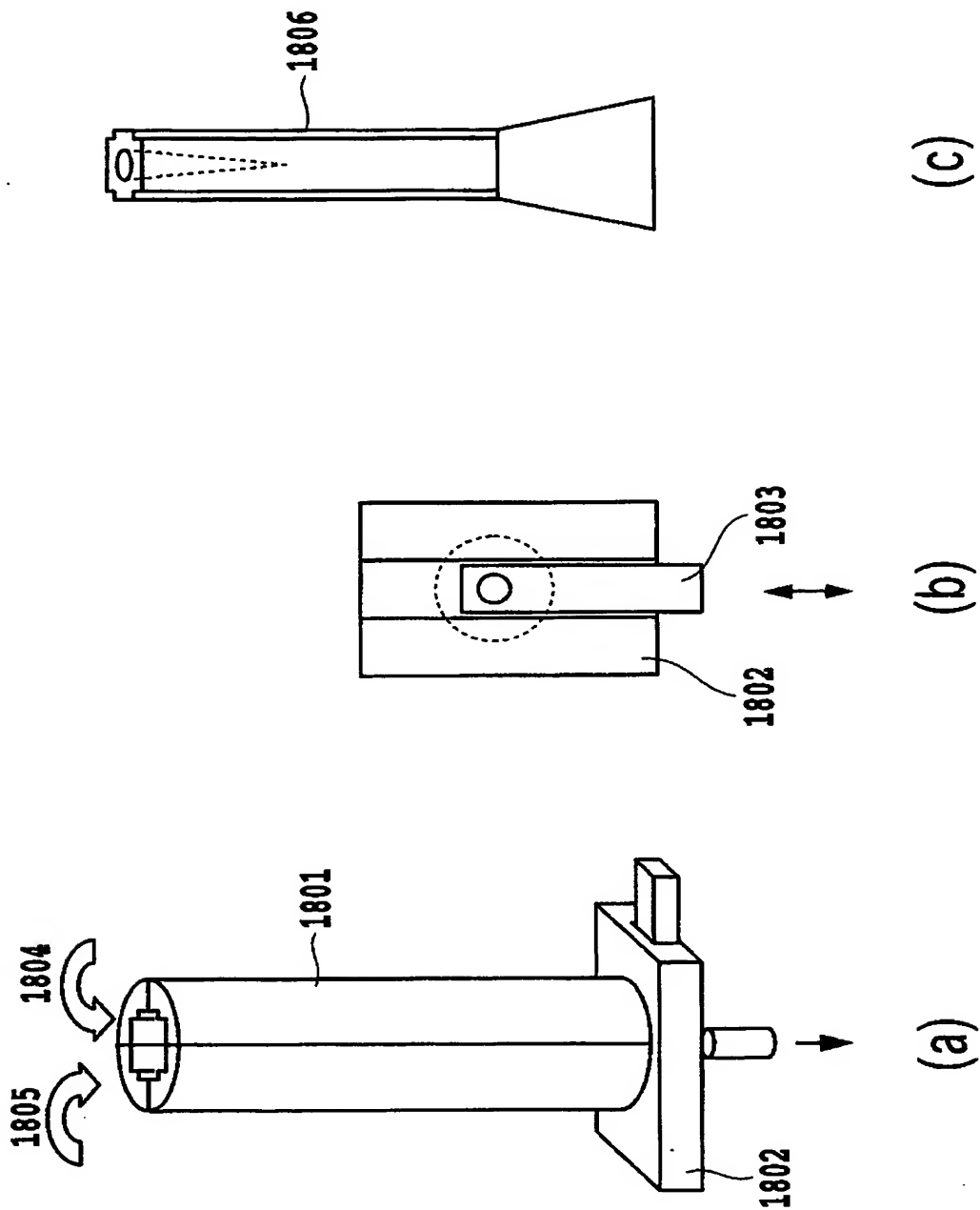
【図 18】



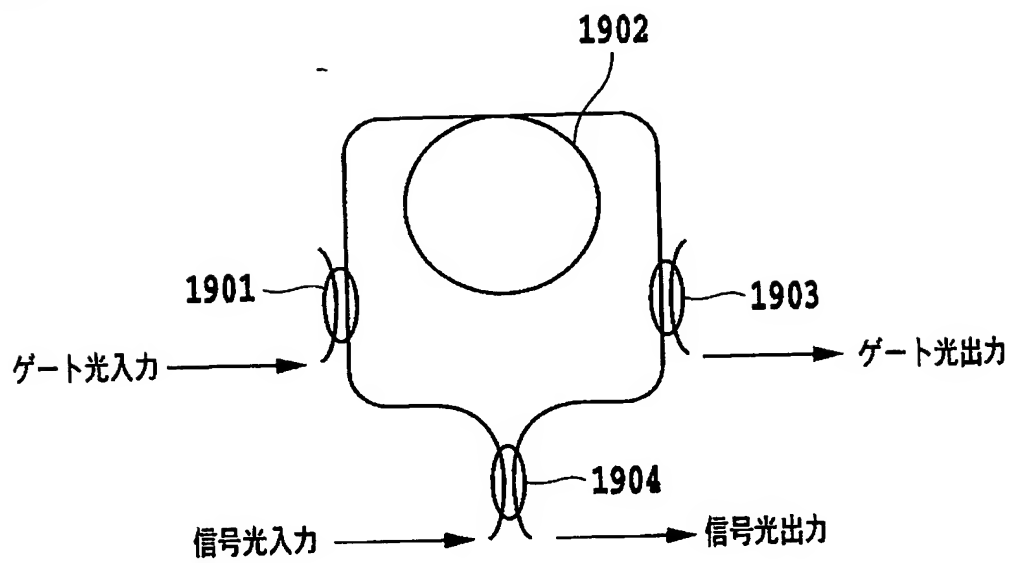
【図 19】



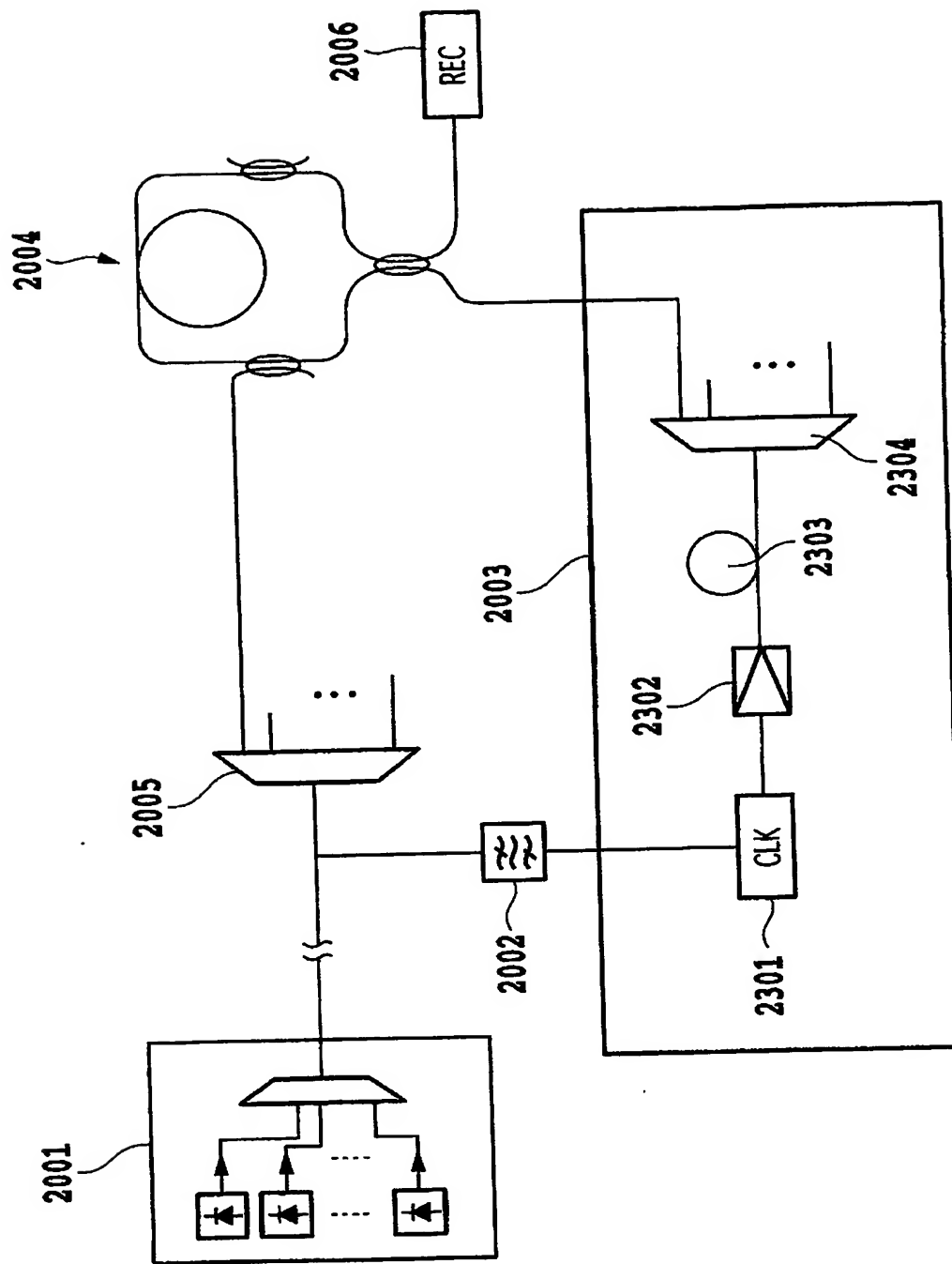
【図 20】



【図 21】



【図 22】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 零分散波長を通信波長帯である $1.2 \sim 1.7 \mu\text{m}$ 帯にシフトしたテルライトファイバを用いて、コンパクトで高効率な非線形デバイスである光ファイバを提供する。

【解決手段】 内壁の内側に凸となる部分が複数形成されたモールド101に、テルライトガラスからなるガラス融液102を注入成型してガラス母材103を作製する第1工程と、第1工程で作製されたガラス母材103を、テルライトガラスからなる円筒状のジャケット管104に挿入し、ガラス母材103とジャケット管104との隙間のエアホールを維持または拡大するように加圧線引きする第2工程とを備えた。

【選択図】 図1

特願 2004-045500

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000004226]

1. 変更年月日

1999年 7月15日

[変更理由]

住所変更

住 所

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

氏 名

日本電信電話株式会社